



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA ARRAY
DENGAN $BEAMWIDTH \leq 5^\circ$ PADA FREKUENSI S-BAND
DENGAN MENGGUNAKAN ELEMEN *MICROSTRIP*
*BOW-TIE***

Rio Prakoso Wibowo
NRP 2213 100 166

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN AND FABRICATION ARRAY ANTENNA WITH
BEAMWIDTH $\leq 5^\circ$ AT S-BAND FREQUENCY USING
MICROSTRIP BOW-TIE ELEMENT**

Rio Prakoso Wibowo
NRP 2213 100 166

Supervisors
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMEN
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Perancangan dan Pembuatan Antena Array Dengan $Beamwidth \leq 5^\circ$ Pada Frekuensi S-band dengan Menggunakan Elemen *Microstrip Bow-Tie***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Rio Prakoso Wibowo
Nrp. 2213 100 166

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA *ARRAY*
DENGAN *BEAMWIDTH* $\leq 5^\circ$ PADA FREKUENSI S-BAND
DENGAN MENGGUNAKAN ELEMEN *MICROSTRIP*
*BOW-TIE***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I


Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
NIP. 1972 10 01 2003 12 1002

Dosen Pembimbing II


Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP. 1966 05 10 1992 03 2002



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA ARRAY
DENGAN $BEAMWIDTH \leq 5^\circ$ PADA FREKUENSI S-BAND
DENGAN MENGGUNAKAN ELEMEN MICROSTRIP BOW-TIE**

Rio Prakoso Wibowo
2213 100 166

Pembimbing I : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

Pembimbing II : Dr. Ir. Puji Handayani, MT

ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan sistem komunikasi membutuhkan perangkat antenna yang ringan, harga terjangkau dan *low profile* yang mampu mempertahankan kinerja tinggi melalui spektrum frekuensi yang luas. Dengan menggunakan antenna microstrip bowtie yang memiliki karakteristik ultra wideband bandwidth (UWB), maka kebutuhan sistem komunikasi akan terpenuhi. Antena ini dapat dirancang membentuk linear N-array sehingga mampu meningkatkan gain, mempersempit beamwidth dan dapat diaplikasi pada sistem radar yang bekerja pada frekuensi S-band di masa yang akan datang.

Untuk itu, dalam tugas akhir ini akan diusulkan desain antenna microstrip bowtie menggunakan software CST Studio 2016 untuk perancangan dan MATLAB 2017a sebagai penunjang pengujian. Antena didesain membentuk antenna microstrip linear N-array dan akan terus dimodifikasi hingga mendapatkan hasil yang optimal.

Berdasarkan hasil simulasi, untuk mendapatkan beamwidth $\leq 180^\circ$ pada antenna single element adalah antenna yang memiliki ukuran dimensi panjang antenna (a)= 61 mm, lebar antenna (b)= 54 mm, panjang jalur 1 (pj1)= 27 mm, panjang jalur 2 (pj2)= 7 mm, lebar jalur 1 (lj1)=2.9 mm dan lebar jalur 2 (lj2)= 1.1 mm dan jarak reflektor sebesar $\lambda/4$. Antena ini memiliki karakteristik lebar beamwidth sebesar $68,6^\circ$. Untuk mendapatkan beamwidth antenna microstrip bowtie $\leq 5^\circ$ dibutuhkan paling sedikit 16 element antenna yang memiliki karakteristik frekuensi kerja di 3.01 GHz dan gain sebesar 20.3 dB. Namun, dalam proses fabrikasi hanya dibuat hingga 2 element karena keterbatasan alat ukur yang dimiliki.

Kata Kunci : radar, *bowtie*, *beamwidth*, *S-band*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DESIGN AND FABRICATION ARRAY ANTENNA WITH BEAMWIDTH $\leq 5^\circ$ AT S-BAND FREQUENCY USING MICROSTRIP BOW-TIE ELEMENT

Rio Prakoso Wibowo
2213 100 166

Supervisor I : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Supervisor II : Dr. Ir. Puji Handayani, MT

ABSTRACT

In recent years, the development of communication systems requires lightweight, low-cost and low-profile antenna devices capable of sustaining high performance over a wide frequency spectrum. By using a microstrip bowtie antenna that has ultra wideband bandwidth (UWB) characteristics, then the communication system needs will be satisfied. This antenna can be designed to form a linear N-array so as to increase gain, narrow the beamwidth and can be applied to radar systems working on future S-band frequencies.

Therefore, in this final project will be proposed microstrip bowtie antenna design using CST Studio 2016 software for design and MATLAB 2017a as supporting test. The antenna is designed to form a N-array linear microstrip antenna and will continue to be modified to achieve optimal results.

Based on the simulation results, to obtain beamwidth $\leq 180^\circ$ in single element antenna is an antenna that has dimensions of antenna length (a) = 64 mm, antenna width (b) = 51 mm, line length 1 (pj1) = 27 mm, line length 2 (pj2) = 7 mm, line width 1 (lj1) = 2.9 mm and line width 2 (lj2) = 1.1 mm and the reflector distance of $\lambda/4$. This antenna has a wide beamwidth characteristic of $68,6^\circ$. To obtain the beamwidth of a microstrip bowtie $\leq 5^\circ$ antenna, it needs at least 16 antenna elements that have working frequency characteristics at 3.01 GHz and a gain of 20.3 dB. However, in the fabrication process only made up to 2 elements because of the limitations of measuring tools owned.

Keywords : radar, bowtie, beamwidth, S-band

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah S.W.T., atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini dengan judul:

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA *ARRAY* DENGAN *BEAMWIDTH* $\leq 5^\circ$ PADA FREKUENSI *S-BAND* DENGAN MENGGUNAKAN ELEMEN *MICROSTRIP BOW-TIE*

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia di jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulis selama proses menyelesaikan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Kedua orangtua penulis, yang selalu memberikan dukungan finansial maupun moral selama penulis menjalani proses perkuliahan di ITS, sampai akhirnya bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D. dan Ibu Dr. Ir. Puji Handayani, MT. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen jurusan teknik elektro ITS, khususnya bidang studi Telekomunikasi Multimedia, atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis kuliah di ITS.
4. Semua rekan-rekan di lab antena dan propagasi, khususnya tim Radar & Ibu Nurhayati, Mbak Nova, Mbak Ike, Mas Mirzha, Mas Rendy, Mas Fanus dll. Yang telah saling bekerja dan belajar bersama selama mengerjakan proyek Tugas Akhir ini.

Semoga buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca

Surabaya, Juli 2017

Penulis

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
TABLE OF CONTENT	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	6
1.7 Relevansi	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Teori Antena.....	9
2.1.1 Antena Microstrip	9
2.1.2 Antena Microstrip Bowtie	11
2.1.3 Antena Microstrip Array	12
2.2 Teknik Pencatutan Antena Microstrip	13
2.3 Parameter Antena	14
2.3.1 Return Loss (RL)	14
2.3.2 Scattering Parameter	15
2.3.3 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)	17
2.3.4 Bandwidth	18
2.3.5 Impedansi Masukan	19
2.3.6 Gain	20
2.3.7 Beamwidth	21

2.4 Spesifikasi Antena RADAR.....	23
2.5 Band Frekuensi	24
2.6 Instrumen Perancangan dan Pengukuran	25
2.6.1 Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio	25
2.6.2 Matrix Laboratory (MATLAB) 2017a.....	26
2.6.3 Vector Network Analyzer	27
2.7 Teknik Pengukuran Antena.....	28
2.7.1 Pengukuran Parameter $S_{1,1}$, Bandwidth dan VSWR	28
2.7.2 Pengukuran Pola Radiasi	29
BAB 3 PERANCANGAN DAN SIMULASI.....	31
3.1 Diagram Alir Perancangan	31
3.2 Spesifikasi Rancangan	32
3.2.1 Parameter Antena.....	33
3.2.2 Bahan PCB dan Patch	33
3.3 Simulasi dengan CST.....	33
3.3.1 Pengaturan Frekuensi.....	34
3.3.2 Pengaturan Boundaries	34
3.3.3 Pengaturan Background	35
3.3.4 Pengaturan Port.....	36
3.3.5 Pengaturan Solver	36
3.4 Desain dan Simulasi Single element	38
3.4.1 Single Element 1	38
3.4.2 Single Element 2.....	41
3.4.3 Single Element 3.....	44
3.5 Analisa Komparasi dan Pemilihan Single element	47
3.6 Modifikasi Single Element Terpilih.....	48
3.6.1 Modifikasi dengan Penambahan Reflektor	49
3.6.2 Penskalaan Dimensi Antena	53
3.6.3 Modifikasi Lebar Jalur Feeding	55
3.7 Pemilihan Ukuran Single Element	56
3.8 Penggabungan Single element dan Modifikasi Antena Array	59
3.8.1 Modifikasi Jarak antar Element	60
3.8.2 Modifikasi Dimensi Antena.....	62

3.9 Pemilihan Desain Akhir Antena Microstrip Bowtie Single Element dan Array 2x1	62
3.10 Program Simulasi MATLAB	68
3.10.1 Perkalian Pola Element dengan Array Faktor	69
3.10.2 Perkiraan Jumlah Array dengan Matlab	72
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA.....	73
4.1 Metode Pengukuran.....	74
4.2 Pengujian Single element	78
4.3 Pengujian Antena Array 2x1	80
4.4 Analisis Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi CST 2016 dan Hasil Perhitungan MATLAB 2017a.....	83
4.4.1 Analisa Antena Microstrip Bowtie Single Element	83
4.4.2 Analisa Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	86
4.5 Analisa Simulasi Antena Hingga Sesuai Dengan Spesifikasi dan Verifikasi Menggunakan MATLAB 2017a.....	89
4.6 Perbandingan Beamwidth Antena Microstrip Bowtie dengan Vivaldi.....	92
4.7 Sintesis	94
BAB 5 PENUTUP.....	97
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Saran.....	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN A PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR ..	101
LAMPIRAN B PENGUKURAN	103
LAMPIRAN C SCRIPT MATLAB.....	105
LAMPIRAN D DATA SIMULASI.....	109
RIWAYAT PENULIS.....	113

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

TABLE OF CONTENT

STATEMENT OF FINAL PROJECT ORIGINALITY	i
FINAL PROJECT LEGALIZATION SHEET	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
PREFACE.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
TABLE OF CONTENT	xv
LIST OF FIGURES	xix
LIST OF TABLES	xxiii
CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Problems.....	2
1.3 Problem Limitation	2
1.4 Objectives.....	2
1.5 Research Methodology.....	3
1.6 Systematic Discussion.....	6
1.7 Relevance	7
CHAPTER 2 LITERATURE REVIEW	9
2.1 Antenna Theory.....	9
2.1.1 Microstrip Antenna	9
2.1.2 Microstrip Bowtie Antenna.....	11
2.1.3 Microstrip Array Antenna	12
2.2 Microstrip Antenna Feeding Technique	13
2.3 Antenna Parameters.....	14
2.3.1 Return Loss (RL).....	14
2.3.2 Scattering Parameters.....	15
2.3.3 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR).....	17
2.3.4 Bandwidth	18
2.3.5 Input Impedance.....	19
2.3.6 Gain	20
2.3.7 Beamwidth	21
2.4 RADAR Antenna Specification	23

2.5	Frequency Bands.....	24
2.6	Design and Measurement Instruments	25
2.6.1	Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio..	
	25
2.6.2	Matrix Laboratory (MATLAB) 2017a.....	26
2.6.3	Vector Network Analyzer	27
2.7	Antenna Measurement Technique.....	28
2.7.1	Measurement of Parameters S1.1, Badwidth and VSWR	28
2.7.2	Measurement of Radiation Patterns	29
CHAPTER 3	DESIGN AND SIMULATION	31
3.1	Flow Chart of Design.....	31
3.2	Design Specification	32
3.2.1	Antenna Parameters	33
3.2.2	PCB and Patch Materials	33
3.3	Simulation with CST.....	33
3.3.1	Frequency Setup	34
3.3.2	Boundaries Settings	34
3.3.3	Background Settings	35
3.3.4	Port Settings.....	36
3.3.5	Solver Settings	36
3.4	Single element design and simulation	38
3.4.1	Single Element 1.....	38
3.4.2	Single Element 2.....	41
3.4.3	Single Element 3.....	44
3.5	Comparative Analysis and Selection of Single Element	47
3.6	Selected Single Element Modification.....	48
3.6.1	Modification with Reflector Addition.....	49
3.6.2	Scaling of Antenna Dimensions.....	53
3.6.3	Modification of Line Feeding Width	55
3.7	Selection of Single Element Size	56
3.8	Single Element Merger and Array Antenna Modification	59
3.8.1	Modification of Distance between Elements	60
3.8.2	Modification of Antenna Dimensions	62

3.9 Selection of Microstrip Bowtie Single Element and 2x1 Array Antenna Design	62
3.10 MATLAB Simulation Program	68
3.10.1 Multiplication of Element Patterns with Array Factor	69
3.10.2 Estimated Number of Arrays with Matlab	72
CHAPTER 4 TESTING AND DATA ANALYSIS	73
4.1 Measurement Methods	74
4.2 Single element test	78
4.3 Antenna Testing 2x1 Array	80
4.4 Analysis of Measurement Results with CST 2016 Simulation Results and MATLAB 2017a Calculation Results	83
4.4.1 Analysis of Single Element Microstrip Bowtie	83
4.4.2 Microstrip Bowtie Analysis 2x1 Linear Array	86
4.5 Analysis of Antenna Simulation to Comply with Specification and Verification Using MATLAB 2017a	89
4.6 Beamwidth Comparison of Microstrip Bowtie Antenna with Microstrip Vivaldi Antenna	92
4.6 Synthesis	94
CHAPTER 5 CLOSING	97
5.1 Conclusion	97
5.2 Suggestion	98
REFERENCES	99
APPENDIX A FINAL PROJECT PROPOSAL LEGALIZATION....	101
APPENDIX B MEASUREMENT	103
APPENDIX C MATLAB SCRIPT	105
APPENDIX D DATA SIMULATION	109
THE AUTHOR HISTORY	113

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Antena Microstrip	10
Gambar 2.2 Macam-macam Bentuk Patch pada Antena Microstrip ...	10
Gambar 2.3 Antena Bowtie	11
Gambar 2.4 Microstrip Line Feeding	14
Gambar 2.5 Two-Port Network	16
Gambar 2.6 Lebar Bandwidth Antena	18
Gambar 2.7 Beamwidth Antena	22
Gambar 2.8 Half Power Beamwidth.....	22
Gambar 2.9 First Null Beamwidth	23
Gambar 2.10 Worksheet CST Microwave Studio	26
Gambar 2.11 Worksheet MATLAB 2017a	27
Gambar 2.12 Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena Bowtie.....	32
Gambar 3.2 Pengaturan Frekuensi.....	34
Gambar 3.3 Pengaturan Boundaries	35
Gambar 3.4 Pengaturan Background	35
Gambar 3.5 Pengaturan Port.....	36
Gambar 3.6 Pengaturan Time Domain Solver	37
Gambar 3.7 Dimensi Antena Single Element 1, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang	38
Gambar 3.8 Parameter $S_{1,1}$ Antena Single element 1	39
Gambar 3.9 VSWR Antena Single element 1	39
Gambar 3.10 Farfield 2D Antena Single element 1	40
Gambar 3.11 Farfield 3D Antena Single element 1	40
Gambar 3.12 Dimensi Single element 2, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang	41
Gambar 3.13 Parameter $S_{1,1}$ Antena Single element 2	42
Gambar 3.14 Nilai VSWR Antena Single element 2.....	43
Gambar 3.15 Bentuk Farfield 2D Antena Single element 2	43
Gambar 3.16 Bentuk Farfield 3D Antena Single element 2	44

Gambar 3.17 Dimensi Single element 3, (a) Tampak depan, (b) Tampak belakang.....	45
Gambar 3.18 Parameter $S_{1,1}$ Antena Single element 3	45
Gambar 3.19 Nilai VSWR Antena Single element 3.....	46
Gambar 3.20 Farfield 2D Antena Single element 3	47
Gambar 3.21 Farfield 3D Antena Single element 3	47
Gambar 3.22 Dimensi Single Element Antena Microstrip Bowtie dengan reflektor, (a) Tampak depan, (b) Tampak belakang.....	49
Gambar 3.23 Parameter $S_{1,1}$ Antena Terpilih dengan Reflektor	50
Gambar 3.24 Farfield 2D Antena Terpilih dengan Reflektor.....	51
Gambar 3.25 Farfield 2D Antena Terpilih dengan Reflektor.....	51
Gambar 3.26 Farfield 3D Antena Terpilih dengan Reflektor.....	52
Gambar 3.27 Parameter $S_{1,1}$ Antena Microstrip Bowtie Single Element Terpilih	57
Gambar 3.28 VSWR Antena Microstrip Bowtie Single element Terpilih	58
Gambar 3.29 Farfield 2D Antena Microstrip Bowtie Single element Terpilih	58
Gambar 3.30 Farfield 3D Antena Microstrip Bowtie Single element Terpilih	59
Gambar 3.31 Antena Microstrip Bowtie Linear Array 2x1, (a) Tampak depan, (b) Tampak belakang.....	60
Gambar 3.32 Parameter $S_{1,1}$ Antena Microstrip Bowtie Single element	63
Gambar 3.33 Parameter VSWR Antena Microstrip Bowtie Single Element.....	64
Gambar 3.34 Parameter Farfield 2D Antena Microstrip Bowtie Single Element.....	64
Gambar 3.35 Parameter Farfield 3D Antena Single Element.....	65
Gambar 3.36 Parameter $S_{1,1}$ Antena Microstrip Bowtie Linear Array 2x1	66
Gambar 3.37 Parameter VSWR Antena Microstrip Bowtie Linear Array 2x1	66

Gambar 3.38 Parameter Farfield 2D Antena Microstrip Bowtie Linear Array 2x1	67
Gambar 3.39 Farfield 3D Antena Microstrip Bowtie Linear Array 2x1	67
Gambar 3.40 Pola Rectangular Antena Microstrip Bowtie Single Element	69
Gambar 3.41 Pola Polar Antena Microstrip Bowtie Single Element...	70
Gambar 3.42 Pola Rectangular Array Factor Antena Microstrip Bowtie 2 Element	70
Gambar 3.43 Pola Polar Array Factor Antena Microstrip Bowtie 2 Element	71
Gambar 3.44 Pola Rectangular Hasil Perkalian Pola Element dengan Array Factor	71
Gambar 3.45 Pola Polar Hasil Perkalian Pola Element dengan Array Factor	72
Gambar 4.1 Diagram Alir Proses Pengukuran Kinerja Antena	73
Gambar 4.2 Sekenario Pengukuran Parameter $S_{1,1}$, VSWR dan Bandwidth	75
Gambar 4.3 Antena Horn Referensi	76
Gambar 4.4 Sekenario Pengukuran Pola Radiasi Antena	77
Gambar 4.5 Antena Microstrip Bowtie Single Element Hasil Fabrikasi, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang	78
Gambar 4.6 Pengukuran parameter $S_{1,1}$ Antena Microstrip Bowtie Single Element	78
Gambar 4.7 Pengukuran VSWR Antena Microstrip Bowtie Single Element	79
Gambar 4.8 Pengukuran Pola Radiasi Bidang H Antena Microstrip Bowtie Single Element	80
Gambar 4.9 Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array Hasil Fabrikasi, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang	81
Gambar 4.10 Pengukuran Parameter $S_{1,1}$ Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	81
Gambar 4.11 Pengukuran VSWR Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	82

Gambar 4.12 Pengukuran Pola Radiasi Bidang H Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	82
Gambar 4.13 Perbandingan Parameter $S_{1,1}$ Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena Microstrip Bowtie Single Element	84
Gambar 4.14 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena Microstrip Bowtie Single Element	84
Gambar 4.15 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena Microstrip Bowtie Single Element	85
Gambar 4.16 Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	87
Gambar 4.17 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	87
Gambar 4.18 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	88
Gambar 4.19 Perbandingan Pola Radiasi Hasil Simulasi CST dengan Hasil Simulasi MATLAB Antena Microstrip Bowtie 16x1 Linear Array	91
Gambar 4.20 Dimensi Antena Vivaldi	92
Gambar 4.21 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi Single Element Antena Microstrip Bowtie dan Antena Microstrip Vivaldi	93
Gambar 4.22 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi Antena Microstrip Bowtie dan Antena Microstrip Vivaldi dalam bentuk Linear Array 32x1	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Antena radar Hasil Konsorsium Kemenristek ...	24
Tabel 2.2 Alokasi Frekuensi Kerja S-band	24
Tabel 3.1 Parameter antena yang Diukur	33
Tabel 3.2 Spesifikasi PCB.....	33
Tabel 3.3 Dimensi Antena 1	38
Tabel 3.4 Dimensi Antena 2	41
Tabel 3.5 Dimensi Antena 3	44
Tabel 3.6 Komparasi Antena Single element	48
Tabel 3.7 Perbandingan Jarak Reflektor.....	52
Tabel 3.8 Perbandingan Dimensi Antena Awal Dengan Antena yang Telah Diskalakan.....	54
Tabel 3.9 Perbandingan Antara Antena Awal Dengan Antena yang Telah Diskalakan.....	54
Tabel 3.10 Parameter Sweep Lebar Jalur Antena.....	55
Tabel 3.11 Dimensi Antena Terpilih	56
Tabel 3.12 Dimensi Antena Microstrip Bowtie Linear Array 2x1	60
Tabel 3.13 Parameter Sweep Jarak Antar Element Antena	61
Tabel 3.14 Dimensi Antena Microstrip Bowtie Terpilih	62
Tabel 3.15 Peforma Antena Microstrip Bowtie Single Element	68
Tabel 4.1 Peforma Antena Microstrip Bowtie Single Element	80
Tabel 4.2 Peforma Antena Microstrip Bowtie Single Element	83
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Fabrikasi, Simulasi CST dan MATLAB Antena Microstrip Bowtie Single Element	86
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Fabrikasi, Simulasi CST dan MATLAB Antena Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array	89
Tabel 4.5 Perbandingan Jumlah Array	90
Tabel 4.6 Perbandingan Simulasi MATLAB dengan CST.....	91
Tabel 4.7 Dimensi Antena Vivaldi	92
Tabel 4.8 Perbandingan Simulasi Antena Microstrip Bowtie dan Antena Microstrip Vivaldi.....	94

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan sistem komunikasi membutuhkan perangkat antena yang ringan, harga terjangkau dan *low profile* yang mampu mempertahankan kinerja tinggi melalui spektrum frekuensi yang luas [1]. Pada radar, juga dibutuhkan karakteristik antena *low profile* dan ringan. Sehingga, tren teknologi saat ini telah banyak memfokuskan penelitian dalam desain antena *microstrip* [2]. Antena *microstrip* memiliki beberapa kelebihan, yaitu bentuknya yang tipis dan kecil, memiliki bobot yang ringan, mudah untuk difabrikasi, mudah untuk diintegrasikan dengan perangkat elektronika lain, dan harga yang relatif murah [3]. Akan tetapi antena *microstrip* ini juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu *gain* rendah, *bandwidth* yang sempit dan efisiensi rendah. [4].

Untuk memperbaiki keterbatasan *bandwidth* yang dimiliki antena *microstrip*, penulis merancang dan membuat antena *microstrip* dengan *patch* antena berbentuk dasi kupu-kupu (*Bowtie*) karena antena *microstrip bowtie* adalah pilihan yang baik untuk antena *ultra wideband bandwidth* (UWB) atau antena dengan lebar pita frekuensi sangat lebar. Bentuk antena berstruktur kupu-kupu atau dikenal juga dengan *bowtie* merupakan pengembangan desain antena dari bentuk dasar segitiga (*triangel*). Antena *bow-tie* sendiri digunakan untuk menghasilkan frekuensi kerja yang sama pada kedua polarisasinya. Hal ini mengakibatkan antena *bowtie* cenderung memiliki karakteristik polarisasi *omnidirectional* [5].

Pada tugas akhir ini, akan dirancang antena *microstrip bowtie* yang memiliki spesifikasi *bandwidth* yang sempit dan bekerja pada frekuensi S-band. Untuk merealisasikannya, dalam tugas akhir ini diusulkan desain antena *microstrip bowtie* akan dirancang membentuk *linear array* untuk memaksimalkan kinerja dari antena terutama untuk meningkatkan *gain* dan mempersempit lebar *beamwidth*. Selain dengan menyusun antena ini membentuk *linear array*, antena juga akan dimodifikasi dengan ditambahkan reflektor sehingga dapat lebih mempersempit *beamwidth* dan menambah nilai *gain* antena hingga bisa sesuai dengan spesifikasi antena yang diharapkan. Tugas akhir akan

disimulasikan dengan software CST Studio 2016 dan MATLAB 2017a. Antena ini dirancang dengan tujuan untuk dapat diaplikasikan dalam sistem radar terutama pada radar yang membutuhkan *beamwidth* yang sempit dan bekerja pada frekuensi S-band di masa yang akan datang.

1.2 Permasalahan

Penelitian pada tugas akhir ini dilakukan melalui perumusan masalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan desain dan simulasi antena *microstrip single element bowtie* yang memiliki lebar *beamwidth* $\leq 180^\circ$ (*Half space*) pada frekuensi S-band.
2. Mendapatkan desain antena *microstrip bowtie linear N-array* yang memiliki *beamwidth* $\leq 5^\circ$ yang bekerja pada frekuensi S-band.

1.3 Batasan Masalah

Pengerjaan tugas akhir ini dibatasi pada hal – hal sebagai berikut:

1. Frekuensi yang diamati adalah frekuensi S-band yaitu rentang frekuensi dari 2-4 GHz
2. Bentuk geometri patch antena *microstrip* yang digunakan adalah berbentuk bowtie atau segitiga
3. Bentuk geometri antena array adalah linear array yang disusun terhadap E-Plane
4. Jumlah elemen array antena yang difabrikasi adalah 2x1 linear array dikarenakan keterbatasan peralatan yang dimiliki
5. Parameter yang diperhatikan adalah *beamwidth antenna*, *Bandwidth antenna* dan parameter $S_{1,1}$ pada perancangan *single element* dan antena array

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut,

1. Mendapatkan bentuk dan ukuran antena *microstrip bowtie single element* yang memiliki *beamwidth* $\leq 180^\circ$ (*half space*) dan bekerja pada frekuensi S-band.
2. Mendapatkan bentuk dan ukuran antena *microstrip bowtie linear N-array beamwidth* antena $\leq 5^\circ$ yang bekerja pada frekuensi S-band.

3. Sebagai rekomendasi desain antenna untuk aplikasi pada system radar yang bekerja pada frekuensi S-band dan membutuhkan beamwidth antenna yang kecil.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan metodologi sebagai berikut :

1. **Studi Literatur**

Mempelajari teori dasar sebagai langkah awal penyelesaian tugas akhir, termasuk mempelajari berbagai *literatur* yang berkaitan dengan perancangan desain antenna *microstrip* dan antenna *bowtie* serta mempelajari cara mensimulasikan antenna dengan software CST Studio 2016 untuk menghasilkan hasil simulasi yang sedekat mungkin dengan kondisi sebenarnya ssat di fabrikasi.

2. **Simulasi Berbagai Rancangan *single element* pada software CST 2016**

Melakukan simulasi beberapa desain antenna yang didapat dari berbagai *paper* referensi pada software CST Studio 2016. Spesifikasi antenna yang disimulasikan dibuat menyerupai dengan *paper* referensi [4], [7], dan [8] agar memperoleh hasil yang mendekati dengan hasil pada *paper*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan desain yang sesuai dengan rumusan masalah yang ada dan sebagai referensi dalam melakukan modifikasi antenna.

3. **Analisis Hasil Simulasi**

Dilakukan analisa terhadap *bandwidth*, *beamwidth*, dan parameter $S_{1,1}$ berdasarkan hasil simulasi menggunakan CST Studio 2016.

4. **Komparasi Beberapa *Single element***

Melakukan perbandingan terhadap beberapa desain antenna yang telah disimulasikan. Adapun parameter yang diamati adalah *bandwidth*, *beamwidth*, gain, parameter $S_{1,1}$, arah beam, dan jumlah *mesh cell* antenna. Hal ini bertujuan agar peforma antenna yang dipilih adalah peforma antenna yang paling optimal.

5. **Modifikasi *Single element* Terpilih**

Proses modifikasi dilakukan dengan cara melakukan penskalaan dimensi antena agar didapatkan kinerja yang sesuai dengan rumusan masalah. Bagian yang diubah antara adalah dimensi antena. Selain mengubah dimensi antena, juga dilakukan penambahan reflektor untuk mengoptimalkan kinerja antena. Selain itu rarak reflektor dengan antena juga dimodifikasi agar mendapatkan hasil yang optimal dalam hal beamwidth antena. Selain itu lebar jalur feeding antena juga akan di modifikasi guna menggeser frekuensi dari antena. Proses modifikasi juga dilakukan terhadap bahan substrate yang digunakan, yaitu FR-4 ePoxy dengan epsilon 4.7. Hal ini dikarenakan menyesuaikan bahan yang tersedia pada vendor percetakan PCB.
6. **Pemilihan Ukuran *Single Element***

Single element hasil modifikasi disimulasikan untuk didapatkan nilai *bandwidth*, *beamwidth*, *backlobe*, *gain* dan parameter $S_{1,1}$ dengan software CST Studio 2016. Parameter backlobe juga dianalisa dikarenakan pola radiasi antena microstrip bowtie cenderung omnidirectional. Pemilihan didasarkan pada permasalahan yang terdaat pada nomor pertama.
7. **Penggabungan *Single Element* Menjadi Antena Array dan Modifikasi Antena Array 2x1**

Antena *single element* dimodifikasi membentuk antena *linear array*. Pada tahap ini juga dilakukan analisa pengaruh jarak antar antena terhadap *bandwidth*, *beamwidth*, *sidelobe*, *gain* dan parameter $S_{1,1}$. Pada tahap ini juga dilakukan modifikasi pada antena array meliputi jarak antar element dan dimensi antena array. Modifikasi jarak antar element bertujuan untuk mendpatkan peforma optimal dari antena. Sedangkan modifikasi dimensi antena bertujuan untuk menggeser frekuensi kerja antena sehingga bisa sesuai dengan spesifikasi

8. **Pemilihan Desain Antena Array 2x1 dan Melakukan Proses Array Hingga Sesuai dengan Spesifikasi**

Hasil modifikasi dianalisa dan dicari dimensi antena yang memiliki kinerja paling baik. Setelah dilakukan pemilihan dimensi antena, dilakukan proses array antena meliputi 4 element, 8 element, 16 element dan 32 element. Hasil simulasi tersebut dianalisa parameter *bandwidth*, *peak S_{1,1}*, *sidelobe*, *gain* dan *beamwidth*. Kemudian dipilih jumlah element minimum yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan nomor dua.

9. **Melakukan Perancangan Simulasi Menggunakan Matlab 2017a**

Pada tahap ini dilakukan perancangan simulasi matlab yang bertujuan untuk membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan secara teoritis. Adapun script MATLAB yang dirancang adalah mengenai perkalian Array Factor dengan pola element antena.

10. **Fabrikasi Antena Single Element Dan Antena Array**

Melakukan fabrikasi terhadap rancangan antena *bowtie* dengan bahan *substrate* FR-4 ePoxoy *double layer*, lapisan atas geometri gabungan *single element* dan lapisan bawah *groundplane*. *Single element* dan *groundplane* terbuat dari bahan *copper*. Desain yang dicetak adalah *prototype* berupa antena *microstrip bowtie* linear array 2x1 dikarenakan ketidaktersediaan alat pengukuran.

11. **Pengukuran Hasil Fabrikasi**

Melakukan pengukuran hasil fabrikasi antena *single element* dan *linear array* dengan *hardwave Vector Network Analyzer* (VNA). Parameter yang diukur adalah parameter *S_{1,1}*, *bandwidth*, *beamwidth* dan VSWR yang dihasilkan.

12. **Analisis Hasil Fabrikasi**

Melakukan analisa terhadap hasil fabrikasi yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi pada software CST Studio 2016 dan perhitungan teoritis menggunakan software MATLAB 2017a.

13. **Penulisan Laporan Tugas Akhir**

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data hasil simulasi dan hasil pengukuran langsung diolah untuk disusun menjadi sebuah buku laporan sebagai hasil pengerjaan tugas akhir.

1.6 **Sistematika Pembahasan**

Pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, serta relevansinya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka mengenai antena *microstrip*, antena *bowtie*, antena *array*, parameter pengukuran antena diantaranya parameter $S_{1,1}$, *Bandwidth*, *Beamwidth* dan instrumen perancangan serta pengukuran.

BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT

Bab ini akan dijelaskan tentang langkah-langkah dalam membuat desain antena *microstrip bowtie linear N-array*, simulasi desain pada software CST studio 2016, dan realisasi desain menjadi alat yang siap dianalisis.

BAB IV PENGUKURAN KINERJA DAN ANALISIS

Pada bab ini akan ditampilkan hasil simulasi dan pengukuran fabrikasi, kemudian dilakukan analisis dari data yang telah diperoleh berdasarkan rumusan masalah.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan berbagai proses yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. **Bagi perusahaan radar**

Rancangan antena *linear N-array bowtie* bisa dijadikan sebagai referensi perancangan desain antena untuk radar dikarenakan *beamwidth* yang sempit dan dapat bekerja pada frekuensi S-band.

2. **Bagi Institusi Pendidikan dan Lembaga Penelitian**

Desain antena *linear N-array microstrip bowtie* ini bisa dijadikan antena referensi yang dapat bekerja pada frekuensi S-band.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Antena

Antena merupakan suatu alat yang dapat mengubah besaran listrik Dari saluran transmisi menjadi suatu gelombang elektromagnetik untuk diradiasikan ke udara. Sebaliknya, antena juga dapat menangkap gelombang elektromagnetik dari udara untuk kemudian dijadikan besaran listrik melalui saluran transmisi. Antena memiliki beberapa bentuk yang umum sering digunakan dikehidupan yaitu antena kabel (*wired antenna*), antena celah (*arpature antenna*), antena pantul (*reflector antenna*), antena *microstrip*, antena log periodik

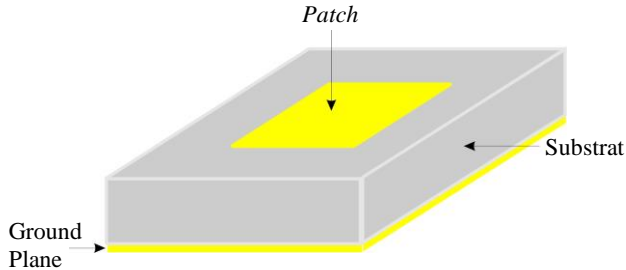
Pada tugas akhir ini, akan digunakan jenis antena *microstrip* dengan resonator yang dimodifikasi membentuk antena *bowtie*. Keunggulan dari antena *microstrip* tersebut akan dijelaskan pada subsubbab selanjutnya.

2.1.1 Antena Microstrip [4]

Antena *microstrip* merupakan suatu bahan konduktor metal yang menempel diatas sebuah *ground plane*. Antena ini ringan dan mudah difabrikasi. Antena *microstrip* umumnya memiliki ukuran yang kecil sehingga antena *microstrip* dapat dengan mudah ditempatkan disegala jenis permukaan.

Sebagai media propagasi gelombang elektromagnetik, maka secara karakteristik dapat dibuat untuk suatu rancangan sebuah saluran transmisi dan radiator antena. Secara konseptual rancangan sebuah antena *microstrip* dilakukan melalui dua tahap, yaitu : merancang model saluran transmisi dan merancang ukuran dan model radiator.

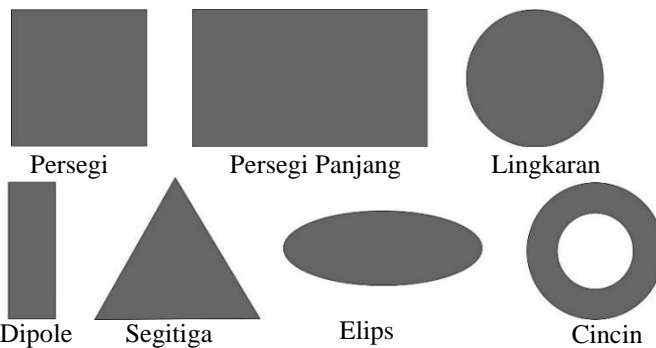
Bentuk geometri dari antena *microstrip* digambarkan pada gambar 2.1. Bentuk tersebut merupakan bentuk yang paling dasar, pada sebuah antena *microstrip* yang terdiri dari sebuah *patch* sebagai elemen peradiasi, substrate dielektrik dan *ground plane*. Masing-masing dari bagian tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda.



Gambar 2.1 Struktur Antena Microstrip

1. Element Peradiasi (*patch*)

Elemen peradiasi berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini biasa disebut dengan radiator patch dan terbentuk dari lapisan logam metal yang memiliki ketebalan tertentu. Ada beberapa jenis radiator berdasarkan bentuknya, diantaranya rectangular (segiempat), triangular (segitiga), lingkaran dan lain-lain. Lalu untuk bentuk konfigurasi patch yang umum digunakan di dalam merancang suatu antena *microstrip* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Macam-macam Bentuk Patch pada Antena Microstrip

2. Substrat

Substrate merupakan dielektrik yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen *ground plane*. Bagian ini memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r), faktor disipasi, dan ketebalan (h) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *Bandwidth* dan juga efisiensi dari antena yang akan dibuat ketebalan substrate jauh

lebih besar dari pada ketebalan konduktor metal peradiasi. Semakin tebal substrate maka *Bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*). Untuk substrate komersial yang tersedia umumnya memiliki dua data ukuran properti fisik, yaitu : konstanta dielektrik atau permittivity (ϵ_r) dan loss tangent ($\tan\delta$).

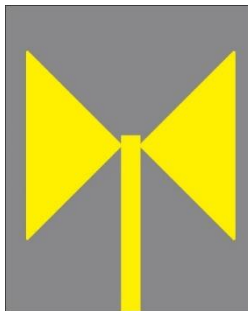
3. Ground Plane

Ground plane berfungsi sebagai *grounding* bagi sistem di antena *microstrip*. Bagian ini umumnya memiliki jenis bahan yang sama dengan elemen peradiasi yaitu berupa logam tembaga.

Keunggulan yang dimiliki oleh antena *microstrip* antara lain ukuran yang kecil dan ringan, fabrikasi yang mudah dan cenderung lebih murah, fleksibel, sehingga mudah untuk dimodifikasi bentuk dan ukurannya dan Mudah untuk dirangkai pada rangkaian gelombang mikro. Sedangkan kelemahan dari antena *microstrip* sendiri antara lain *gain* yang kecil, *bandwidth* yang sempit, gelombang yang tidak diinginkan bisa muncul dari line feed atau karena kesalahan dalam proses pemasangan port dan daya yang dapat diradiasikan rendah.

2.1.2 Antena *Microstrip Bowtie* [5]

Bentuk antena *bowtie* merupakan pengembangan desain antena dari bentuk *patch* segitiga. Antena *bowtie* bentuk *patch* memiliki ukuran yang lebih kecil dari antena *bowtie* bentuk kawat. Kelebihan bentuk *bowtie* adalah mempunyai radiator yang lebih besar sehingga antena *bowtie* memiliki *beamwidth* yang lebar. Namun antena *bowtie* memiliki *gain* yang rendah. Antena *bowtie* sendiri digunakan untuk menghasilkan frekuensi kerja yang sama pada kedua polarisasinya.



Gambar 2.3 Antena *Bowtie*

2.1.3 Antena *Microstrip Array* [4]

Antena *microstrip array* adalah antenna yang terdiri dari dua atau beberapa buah antenna yang identik yang digabungkan pada suatu sumber atau beban yang disusun menurut konfigurasi geometris dan elektrik tertentu untuk menghasilkan suatu pola radiasi yang direktif. Dalam antenna *microstrip*, bagian yang disusun secara *array* adalah keseluruhan bagian antenna, baik *patch*, substrat dan *ground plane*. Medan total dari antenna *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh antenna *single element*. Untuk membentuk pola radiasi dari antenna *array* dengan arah tertentu diperlukan medan dari setiap elemen *array* berinterferensi secara konstruktif ke arah yang ditentukan dan berinterferensi secara destruktif ke arah yang lainnya. Terdapat lima hal yang perlu diperhatikan dalam merancang antenna *array*, yaitu :

1. Bentuk geometri (linier, melingkar, rectangular dll.)
2. Jarak antar element antenna
3. Amplitudo eksitasi pada setiap element antenna
4. Fase Eksitasi setiap antenna
5. Pola radiasi pada *single element*

Pada tugas akhir ini, digunakan bentuk geometri linear dikarenakan memiliki kelebihan dalam perhitungannya yang lebih mudah dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi lebih cepat. Selain itu juga terdapat faktor penting dalam melakukan *array* yaitu *array factor* (AF) yang merupakan faktor pengali dari medan elektrik antenna *single element*. *Array factor* ini juga yang akan menentukan bagaimana bentuk pola radiasi antenna *array* dan besar daya yang dihasilkan dalam proses *array*.

Dalam tugas akhir ini, konfigurasi geometri yang digunakan dalam proses *array* adalah *linear array*. Guna mencapai *beamwidth* $\leq 5^\circ$, dibutuhkan proses *array* antenna hingga N-element dikarenakan antenna *microstrip* yang memiliki karakteristik *beamwidth* yang lebar. Pada antenna *array* N-element, *array factor* (AF) dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(N-1)(kdcos\phi + \beta)} \quad (2.1)$$

$$AF = a_n(1 + e^{j(kdcos\phi + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(kdcos\phi + \beta)})$$

Keterangan :

a_n = Amplitudo Eksitasi

N = Jumlah Element

k = Konstanta Fasa Gelombang

d = Jarak antar element

\emptyset = Sudut Fasa

β = Beda fasa eksitasi antar element

Perhitungan *array factor* dilakukan mulai dari sudut (\emptyset) 0° hingga 360° untuk melihat nilai *array factor* secara keseluruhan. Untuk nilai β bernilai konstan bergantung pada kondisi yang diinginkan. Umumnya jika antena memiliki polarisasi ke arah broadside maka nilai β adalah 90° . Sedangkan jika arah broadside maka nilai β adalah 0° . Nilai k dapat dicari dengan persamaan

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.2)$$

Dimana nilai λ merupakan panjang gelombang yang dapat dicari menggunakan persamaan $\lambda = \frac{c}{f}$ dimana c merupakan kecepatan cahaya dengan nilai 3×10^8 dan f adalah frekuensi kerja dari antena yang dirancang. Jarak antar element dalam perhitungan diatas adalah jarak antar pusat antena bukan jarak antar antena. Sehingga d yang dimaksud pada perhitungan diatas adalah sebagai berikut :

$$d = \text{jarak antar antena} + \text{lebar single element} \quad (2.3)$$

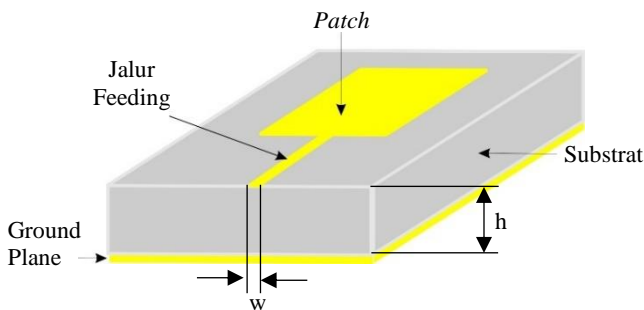
Jarak antar antena sendiri bernilai antara $0 < \text{jarak antar antena} < \lambda/2$. λ yang dipakai dalam perhitungan ini merupakan λ pada keadaan ruang bebas.

2.2 Teknik Pencatutan Antena *Microstrip* [4]

Teknik pencatutan pada antena *microstrip* adalah teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antena *microstrip*. Teknik ini penting dalam menentukan proses perancangan antena *microstrip*. Terdapat beberapa metode pencatutan antena *microstrip*, yaitu *Electromagnetically Coupled (EMC)*, *Microstrip Line Feeding*, *Coaxial*

Feeding dan *Aperture Feeding*. Masing-Masing teknik mempunyai kelebihan dan kelemahan masing-masing.

Pada tugas akhir ini digunakan metode *microstrip line feeding*. Metode ini tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah *strip* dengan lebar w dan bidang pentanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki permitivitas relatif ϵ_r dengan tinggi h . Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya Z_0 . Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran *microstrip* ditentukan oleh lebar strip (w) dan tinggi substrat (h).



Gambar 2.4 *Microstrip Line Feeding*

2.3 Parameter Antena

Untuk dapat menjelaskan kinerja dari suatu antena, dibutuhkan penjelasan dari beberapa parameter yang umum digunakan dalam perancangan antena *microstrip*, yaitu *Bandwidth* (lebar pita frekuensi), *Return Loss* (RL), *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *Input Impedance* (impedansi masukan), pola radiasi, dan *gain*.

2.3.1 *Return Loss* (RL) [6]

Return Loss (RL) adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* (RL) digambarkan sebagai peningkatan dua komponen gelombang tegangan, yaitu dari tegangan yang refleksikan (V_o^-) dan tegangan yang dikirimkan (V_o^+). Dan perbandingan tersebut dinamakan koefisien refleksi tegangan dan dilambangkan dengan Γ_L . Untuk koefisien refleksi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad \text{untuk } Z_L > Z_o, \quad (2.4)$$

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_o - Z_L}{Z_L + Z_o} \quad \text{untuk } Z_o > Z_L, \quad (2.5)$$

Dimana :

Γ = Koefisien refleksi tegangan

V_o^- = Tegangan yang direfleksikan (Volt)

V_o^+ = Tegangan yang dikirimkan (Volt)

Z_L = Impedansi beban atau load (Ohm)

Z_o = Impedansi karakteristik (Ohm)

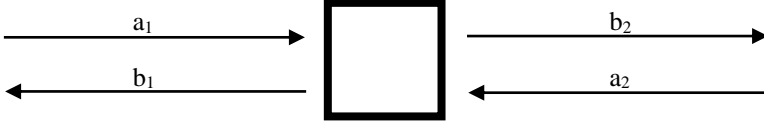
Return Loss (RL) dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (mismatched). Besarnya *Return Loss* (RL) bervariasi tergantung pada frekuensi. Untuk mencari nilai *Return Loss* (RL) dapat diperoleh dengan cara memasukkan nilai koefisiensi refleksi tegangan kedalam persamaan berikut :

$$R_L \text{ (dB)} = 20 \text{ Log}_{10} |\Gamma| \quad (2.6)$$

Nilai *Return Loss* (RL) yang sering digunakan adalah dibawah - 9.84 dB atau untuk simulasi nilai *Return Loss* (RL) itu dibawah -10 dB. Nilai itu juga digunakan untuk menentukan lebar *Bandwidth* sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah matching. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

2.3.2 *Scattering Parameter* [6]

Scattering parameter atau S-parameter adalah *term* yang populer penggunaannya untuk sistem yang menggunakan gelombang elektromagnetik fekuensi tinggi meskipun sebenarnya tidak dibatasi hanya untuk frekuensi tinggi. S-parameter menggambarkan perilaku listrik pada *linier electrical network* yang bisa digunakan untuk menyatakan VSWR, *gain*, *return loss*, *transmission coefficient*, dan *reflection coefficient*. Bentuk sederhana dari sistem dua port ditunjukkan seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Two-Port Network*

Matriks S-parameter untuk sistem dua port adalah yang paling banyak digunakan dan dibuat sebagai blok acuan untuk menyusun matrik dengan orde yang lebih tinggi. Hubungan daya gelombang yang datang, terpantul dan diteruskan dapat ditunjukkan oleh matrik berikut.

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{1,1} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Dari matrik tersebut, didapatkan persamaan

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{1,1}a_1 + S_{12}a_2 \\ b_2 &= S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Masing-masing persamaan menampilkan hubungan antara daya yang dipantulkan dan daya datang pada setiap port, dalam hal ini parametet $S_{1,1}$, S_{12} , S_{21} , dan S_{22} . Port 1 didefenisikan sebagai port gelombang datang dan port 2 sebagai arah tujuan gelombang transmisi. Oleh karena itu, dapat difenesikan tegangna gelombang datang sebagai $a_1 = V_1^+$ dan $a_2 = V_2^+$, sedangkan tegangan gelombang pantul $b_1 = V_1^-$ dan $b_2 = V_2^-$. Jadi S-parameter dapat didefenisikan sebagai :

$$S_{1,1} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \quad (2.9)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} = \frac{V_1^-}{V_2^+} \quad (2.10)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{V_2^-}{V_1^+} \quad (2.11)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} = \frac{V_2^-}{V_2^+} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$S_{1,1}$ = koefisien pantulan tegangan input, perbandingan tegangan

Pantul port 1 dengan tegangan maju port 1

$S_{1,2}$ = *gain* tegangan pantul, perbandingan tegangan gelombang

pantul port 1 dan tegangan maju port 2

$S_{2,1}$ = *gain* tegangan maju, perbandingan tegangan pantul port 2

dengan tegangan maju dari port 1

$S_{2,2}$ = koefisien pantulan tegangan output, perbandingan tegangan

Gelombang pantul port 1 dengan gelombang maju port 2

2.3.3 *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) [6]

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (standing wave) untuk tegangan maksimum ($|V|_{\max}$) dengan tegangan minimum ($|V|_{\min}$), untuk *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) ini dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.13)$$

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan phase dari refleksi. Untuk beberapa kasus dapat didefinisikan :

$\Gamma = -1$, berarti refleksi negatif maksimum yaitu ketika saluran terhubung singkat.

$\Gamma = 0$, berarti tidak ada refleksi yaitu ketika saluran dalam keadaan matched sempurna.

$\Gamma = +1$, berarti refleksi positif maksimum yaitu ketika saluran terhubung dalam rangkaian terbuka.

Kondisi yang paling baik adalah ketika *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) bernilai sama dengan Γ atau bernilai 1 (SWR=1) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan matching sempurna. Namun pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu pada umumnya nilai standar *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) yang sering digunakan untuk antena adalah $VSWR \leq 2$.

2.3.4 *Bandwidth* [4]

Daerah frekuensi kerja dimana antenna masih dapat bekerja dengan baik dinamakan *Bandwidth* antenna. Suatu misal sebuah antenna bekerja pada frekuensi tengah sebesar f_C , namun ia juga masih dapat bekerja dengan baik pada frekuensi f_L (di bawah f_C) sampai dengan f_H (di atas f_C), maka lebar *Bandwidth* dari antenna tersebut adalah $(f_H - f_L)$ dengan batas kenaikan nilai $VSWR \leq 2$. Selain dengan melihat nilai $VSWR$, bandwidth juga dapat dilihat dari nilai parameter $S_{1,1}$ dimana bandwidth antenna berada pada nilai parameter $S_{1,1} \leq -10$ dB. Gambar dari lebar beamwidth dari antenna bila melihat nilai parameter $S_{1,1}$ dapat dilihat pada gambar 2.6. Persamaan bandwidth antenna bila dinyatakan dalam persen dinyatakan sebagai berikut:

$$\%BW = \frac{f_H - f_L}{f_C} \times 100\% \quad (2.14)$$

Dan untuk *bandwidth* dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$BW = f_H - f_L \quad (2.15)$$

Dengan f_C dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

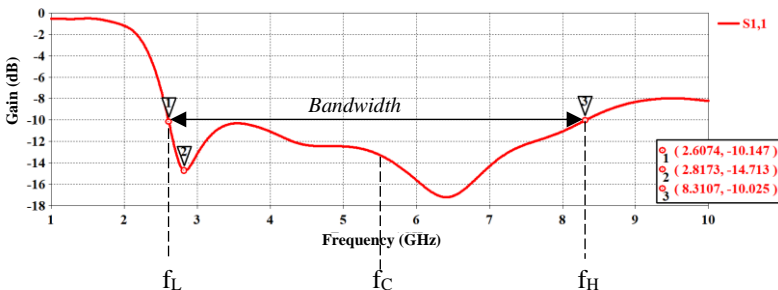
$$f_C = \frac{f_H - f_L}{2} \quad (2.16)$$

Keterangan :

f_C = Frekuensi tengah (*Hertz*)

f_H = Frekuensi maksimum (*Hertz*)

f_L = Frekuensi minimum (*Hertz*)



Gambar 2.6 Lebar *Bandwidth* Antena

2.3.5 Impedansi Masukan [4]

Impedansi masukan suatu antenna adalah impedansi pada terminalnya. Impedansi masukan akan dipengaruhi oleh antenna-antenna lain atau obyek-obyek yang dekat dengannya. Untuk impedansi input dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Z_{in} = Z_o \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad (2.17)$$

Keterangan :

Z_{in} = Impedansi masukan (*Ohm*)

Z_o = Impedansi karakteristik (*Ohm*)

Γ = Koefisien refleksi tegangan

Impedansi antenna terdiri dari *gain* riil dan imajiner, yang dapat dinyatakan dengan :

$$Z_{in} = Z_o \{ R_{in} + jX_{in} \} \quad (2.18)$$

Resistansi input (R_{in}) menyatakan tahanan disipasi. Daya dapat terdisipasi melalui dua cara, yaitu karena panas pada struktur antenna yang berkaitan dengan perangkat keras dan daya yang meninggalkan antenna dan tidak kembali (teradiasi). Sehingga daya real merupakan komponen yang diharapkan, yakni menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui radiasi, sementara komponen imajiner menunjukkan reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna.

Untuk antenna microstrip dengan pencatutan line feeding, rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai impedansinya adalah sebagai berikut :

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad \text{Jika } \frac{w}{h} < 1$$

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{1}{\left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.677 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right]} \right) \quad \text{Jika } \frac{w}{h} \geq 1 \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{2}}} + 0.44 \left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \right] & \text{Jika } \frac{w}{h} < 1 \\ \epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{2}}} \right] & \text{Jika } \frac{w}{h} \geq 1\end{aligned}\quad (2.20)$$

Dimana :

Z_C = Impedansi Antena Microstrip

ϵ_r = Konstanta Dielektrik Substrat Dielektrik

ϵ_{eff} = Konstanta Dielektrik Substrat Dielektrik Efektif

h = Tinggi Substrat

w = Lebar Jalur Feeding

t = Tebal Jalur Feeding

2.3.6 Gain [4]

Ketika antena digunakan pada suatu sistem, biasanya lebih tertarik pada bagaimana efisien suatu antena untuk memindahkan daya yang terdapat pada terminal input menjadi daya radiasi. *Power gain (gain)* didefinisikan sebagai 4 kali rasio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antena, dan dinyatakan dengan :

$$G = 10 \log \frac{I_0}{I} \quad (2.21)$$

Keterangan :

I_0 = Intensitas radiasi maksimum antena

I = Intensitas radiasi maksimum dari antena referensi

Terdapat dua jenis parameter *gain*, yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* pada sebuah antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antena teradiasi secara isotropik. Nilai *gain* absolute dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_m} \quad (2.22)$$

Keterangan :

U = Intensitas radiasi antenna

P_m = Daya input antenna

Sedangkan *relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah tertentu, dengan daya masukan sama pada kedua antenna, namun antenna referensi merupakan sumber isotropic yang *loseless* $P_{in(lossless)}$. *Gain relative* dapat dihitung dengan persamaan :

$$G = 4\pi \frac{U_m}{P_{in(lossless)}} \quad (2.23)$$

Keterangan :

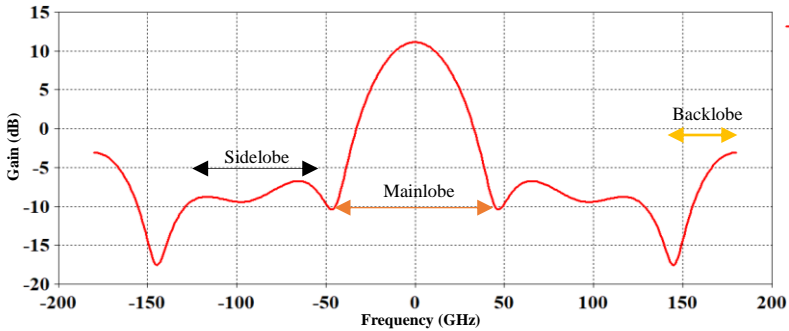
U_m = Intensitas radiasi antenna

$P_{in(lossless)}$ = Daya input antenna isotropik lossless

2.3.7 *Beamwidth* [4]

Beamwidth adalah sudut aperture dari antenna dimana sebagian besar daya terpancar. *Beamwidth* sendiri terbagi atas beberapa bagian diantaranya *main beam*, *sidelobe* dan *backlobe*. *Main beam* merupakan daerah dimana daya yang dipancarkan maximum. Daerah *main beam* umumnya adalah sudut antara daya puncak dengan daya lebih dari sama dengan 50% (-3dB) daya pancar antenna. *Sidelobe* merupakan daerah beam yang kecil dimana berada jauh dari beam utama. *Sidelobes* ini biasanya merupakan pancaran radiasi antenna dengan arah yang tidak diinginkan yang tidak akan pernah bisa dihilangkan sama sekali. Sedangkan *backlobe* merupakan daerah dimana pancaran radiasi antenna yang muncul berkebalikan 180° dari beam utama antenna. Gambar dari *beamwidth* antenna digambarkan pada gambar 2.10.

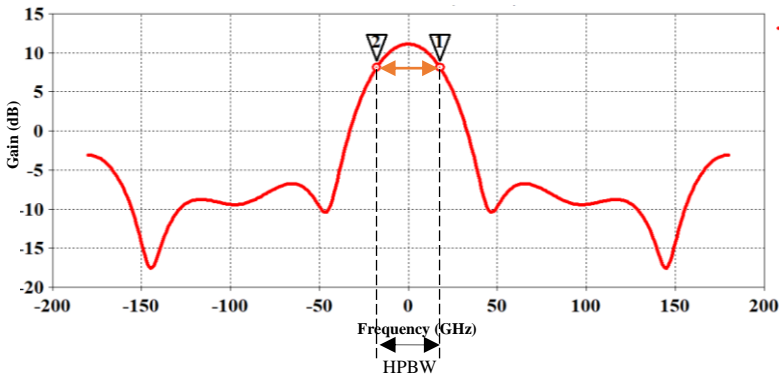
Terdapat dua hal utama yang terdapat dari *beamwidth* yaitu, *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan *First Null Beamwidth* (FNBW). Karakteristik dan perumusan dari *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan *First Null Beamwidth* (FNBW) akan dijelaskan pada subbab berikutnya.



Gambar 2.7 Beamwidth Antena

2.3.7.1 *Half Power Beamwidth*

Half Power Beamwidth merupakan sudut pemisah dimana besar nilai daya pola radiasi bernilai 50% (-3dB) dari puncak beam utama. Gambar 2.10 penentuan *half power beamwidth* dari antena. menggambarkan Dengan kata lain, *Beamwidth* adalah area di mana sebagian besar daya terpancar, yang mana merupakan daya puncak antena. *Half Power Beamwidth* adalah sudut dimana daya relatif $\geq 50\%$ dari daya puncak yang dipancarkan antena.

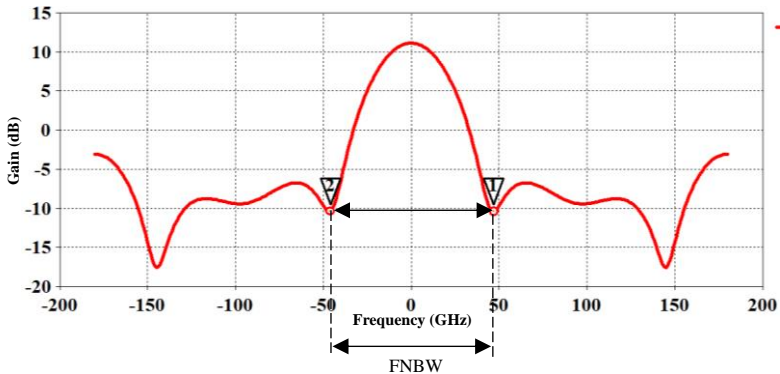


Gambar 2.8 *Half Power Beamwidth*

2.3.7.2 *First Null Beamwidth*

First Null Beamwidth merupakan rentang sudut antara nilai daya nol pertama yang bersebalahan dengan beam utama. Nilai dari *first null*

beamwidth umumnya adalah 2 HPBW. Gambar 2.12 menggambarkan letak dari *first null beamwidth* sebuah antenna. Secara matematis, nilai dari *first null beamwidth* adalah :



Gambar 2.9 *First Null Beamwidth*

2.4 Spesifikasi Antena RADAR

Radio Detection and Ranging (RADAR) berfungsi untuk mendeteksi, mengukur jarak, ketinggian dan memetakan suatu objek. Karena kemampuannya itu RADAR dapat digunakan untuk melihat objek-objek di laut dan udara pada jarak jangkauan yang luas meskipun cuaca buruk seperti hujan badai dan kabut. Pada sistem RADAR, antenna adalah salah satu komponen yang mempunyai peranan sangat penting dalam sistem komunikasi karena berfungsi sebagai pemancar atau penerima gelombang elektromagnetik [9]. Adapun spesifikasi antenna RADAR yang akan dirancang berdasarkan hasil konsorsium dengan Kemenristek ditampilkan pada tabel 2.1.

Pada tahap awal perancangan antenna, antenna yang didesain memiliki karakteristik linear N-array yang memiliki beamwidth $\leq 5^\circ$ dan bekerja pada rentang frekuensi S-band. Pengembangan desain antenna hingga sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan akan dilakukan pada tahap selanjutnya.

Tabel 2.1 Spesifikasi Antena radar Hasil Konsorsium Kemenristek [9]

Parameter	Value	Unit
Frekuensi kerja	2.9 – 3.1	GHz
Teknologi antena	Phased-array	
Gain antena	30	dB
Azimuth beam width	≤ 2	degree
Elevation beam width	≤ 2	degree
Jumlah elemen	64 x 48	

2.5 Band Frekuensi

Band frekuensi adalah sebuah interval dalam domain frekuensi yang dibatasi oleh frekuensi bawah dan frekuensi atas. Pembagian frekuensi ditujukan untuk alokasi kegunaan rentang frekuensi tersebut. Ada beberapa lembaga internasional dalam bidang Teknik Elektro yang membagi rentang frekuensi, salah satunya adalah IEEE.

Rentang frekuensi yang digunakan adalah *S-band*. *S-band* merupakan bagian dari pita gelombang mikro dari spektrum elektromagnetik yang berasal dari nama *short wave*. Hal ini didefinisikan oleh IEEE untuk gelombang radio dengan frekuensi antara 2 sampai 4 GHz, melintasi batas konvensional *Ultra High Frequency* (UHF) dan *Super High Frequency* (SHF) di 3 GHz. *Frekuensi S-band* digunakan pada aplikasi radar cuaca, radar kapal permukaan, dan beberapa satelit komunikasi. Kelebihan *S-band* terletak pada ketahannya terhadap perubahan cuaca (seperti hujan deras dan awan tebal), namun memiliki gangguan terhadap sinyal *Wi-Fi* di 2,4 GHz. [10]

Tabel 2.2 Alokasi Frekuensi Kerja *S-band* [11]

No	Frekuensi (GHz)	Aplikasi
1	2,4	<i>Wi-Fi</i>
2	2,6	4G LTE, <i>China Multimedia Mobile Broadcasting</i> , radio satelit, <i>US mobile TV</i>
3	2,7-2,9	<i>Airport Surveillance Radar</i>
4	3	<i>Weather Radar</i>
5	3,5	<i>Wi-Max</i>
6	3,8-4,2	<i>Uplink satelit</i>

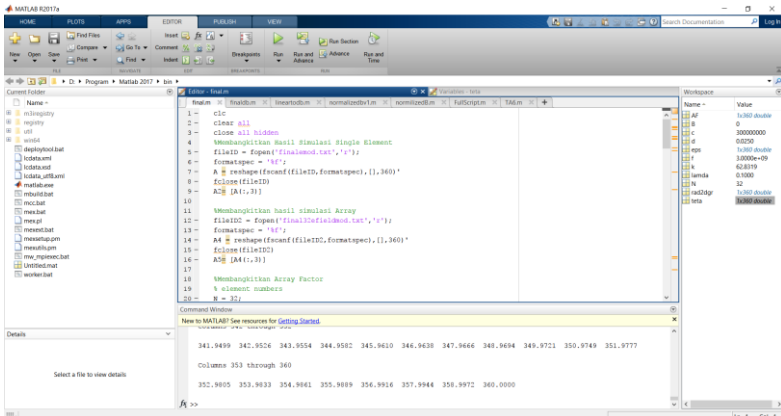
2.6 Instrumen Perancangan dan Pengukuran

Dalam perancangan *antena microstrip bowtie*, digunakan *software* berbasis PC yang dapat mensimulasikan karakteristik dan parameter rancangan secara teoritis sebelum akhirnya akan difabrikasi. Desain *antena microstrip bowtie* yang telah dioptimasi kemudian diuji dengan menggunakan beberapa perangkat pengujian.

2.6.1 Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio

Computer Simulation Technology Microwave Studio adalah sebuah *software* simulasi tiga dimensi yang banyak dipakai untuk mensimulasikan suatu struktur yang berhubungan dengan pancaran gelombang elektromagnetik. CST dikembangkan oleh perusahaan CST Computer Simulation Technology AG yang berfokus dalam pengembangan *software* simulasi dan pemodelan 3D gelombang elektromagnetik. Fitur yang terdapat pada CST Studio 2016 ini adalah dapat memodelkan beberapa macam hal yaitu Microwave dan RF (radio frequency), PCB dan elektronika, EMC (Electromagnetic Compatibility), Partikel listrik dinamis dan berkaitan dengan peralatan berfrekuensi rendah. Kemampuan tersebut kemudian dijabarkan kedalam beberapa interface simulasi yaitu CST Microwave Studio, CST EM Studio, CST Particle Studio, CST Cable Studio, CST Mphysics Studio, CST Design Studio dan CST PCB Studio.

Dalam tugas akhir ini digunakan interface CST *Microwave Studio* (MWS) yang merupakan salah satu produk tools yang terdapat pada CST Studio Suite 2016 yang banyak digunakan dalam mendesain perangkat yang berhubungan dengan gelombang EM (Elektromagnetik) terutama antena dan filter yang bekerja pada frekuensi tinggi. Kelebihan yang dimiliki oleh *software* CST MWS diantaranya adalah antarmuka yang mudah dimengerti sehingga cocok digunakan sebagai program simulasi pembelajaran bagi pemula maupun yang sudah berpengalaman. CST MWS dapat pula digunakan untuk mensimulasikan beberapa komponen RF dengan mudah dengan hasil akurat dan cepat. Interface dari CST Microwave Studio digambarkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.11 Worksheet MATLAB 2017a

2.6.3 Vector Network Analyzer

Pengujian kinerja antenna bisa menggunakan perangkat keras yang disebut sebagai *Vector Network analyzer*. Parameter yang diukur menggunakan VNA ini adalah Parameter $S_{1,1}$ dan VSWR. VNA yang digunakan harus memiliki rentang frekuensi memenuhi rentang frekuensi kerja pada frekuensi *S-band* yaitu pada rentang 2-4 GHz. Gambar dari VNA yang digunakan digambarkan seperti pada gambar 2.14. VNA yang digunakan adalah tipe *Agilent N9923A Fieldfox* yang memiliki spesifikasi pengukuran dari 2 MHz – 6 GHz. Adapun VNA ini memiliki 2 port yang dapat digunakan bersamaan untuk pengukuran antenna. Adapun parameter yang dapat diukur oleh VNA ini diantaranya S-parameter ($S_{1,1}$, $S_{1,2}$, $S_{2,1}$, dan $S_{2,2}$), VSWR dan Impedansi input.



Gambar 2.12 Agilent N9923A Fieldfox RF Vector Network Analyzer

2.7 Teknik Pengukuran Antena

Pengukuran antena perlu dilakukan untuk memastikan bahwa antena yang dirancang sesuai dengan kinerja yang diharapkan. Pengukuran antena dilakukan di daerah medan jauh antena, hal ini dimaksudkan agar antena tidak terpengaruh oleh medan dari benda-benda di sekitarnya. Jarak pengukuran antena pemancar dengan penerima adalah $R > 2 \frac{D^2}{\lambda}$, dengan D adalah panjang dimensi terbesar antena dan λ adalah panjang gelombang. Untuk menghindari kesalahan dan data yang dihasilkan dapat dipertanggung jawabkan maka syarat-syarat pengukuran harus diperhatikan seperti frekuensi sistem harus stabil dan tidak boleh berubah-ubah, kriteria medan jauh dan lingkungan bebas pantulan harus dipenuhi, lingkungan bebas noise dan interferensi benda-benda sekelilingnya dan antena diarahkan berimpit dengan sumbu utama. Namun kondisi ideal susah dicapai karena kondisi nyatanya adalah sebagai berikut :

- a. Pengukuran antena sering kali dipengaruhi oleh pantulan gelombang yang tidak diinginkan.
- b. Pengukuran outdoor memberi kondisi lingkungan EM yang tidak terkontrol.
- c. Secara umum, teknologi pengukuran antena sangat mahal.

Melihat pertimbangan inilah maka akan dilakukan pengukuran antena dengan kondisi yang seideal mungkin. Dengan menggunakan sarana dan prasarana yang terbatas tetapi diharapkan mendapatkan hasil yang dapat dipertanggung jawabkan.

2.7.1 Pengukuran Parameter $S_{1,1}$, Bandwidth dan VSWR

Voltage Standing Ratio (VSWR) merupakan parameter yang menandakan kesesuaian sebuah antena terhadap saluran transmisi sehingga mempengaruhi daya yang diterima. Nilai VSWR harus sesuai dengan ambang batas dari perangkat yang digunakan. Pada tugas akhir ini nilai VSWR yang diharapkan $\leq 2,0$. Pengukuran *bandwidth* dilakukan untuk mengetahui daerah frekuensi yang dimiliki suatu antena. Pengukuran *bandwidth* sendiri erat kaitannya dengan pengukuran $S_{1,1}$ dimana daerah kerja frekuensi suatu antena adalah ketika antena tersebut memiliki nilai parameter $S_{1,1} \leq -10\text{dB}$.

Pada pengukuran ini menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) Agilent N9923A Fieldfox untuk mendapatkan Parameter $S_{1,1}$, Bandwidth dan VSWR antena *microstrip patch bowtie*. Parameter yang

diukur dapat langsung terbaca saat antena dihubungkan dengan VNA. Untuk melihat parameter yang diukur perlu dilakukan pengaturan pada VNA sesuai dengan manual yang ada pada perangkat.

2.7.2 Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan untuk mengetahui bentuk pola radiasi antenna *microstrip bowtie* yang telah difabrikasi. Pengukuran pola radiasi ini menggunakan prinsip repositas dimana bahwa secara ideal satu antena dapat dipergunakan sebagai antena pemancar dan dapat pula dipergunakan sebagai antena penerima. Pada pengukuran ini dipergunakan dua antena dimana antena pertama adalah antena horn yang dihubungkan dengan sebuah signal generator sebagai antena pengirim dan antena mikrostip *bowtie* sebagai antena penerima yang dihubungkan dengan sebuah spectrum analyzer. Penempatan kedua antenna ini diletakan dalam posisi sejajar dengan ketinggian ± 1 meter dari lantai dan jarak $R > 2 \frac{D^2}{\lambda}$ antara kedua antena. Metode pengukuran ini menggunakan metode pengukuran farfield karena keterbatasan peralatan dan tempat yang ada.

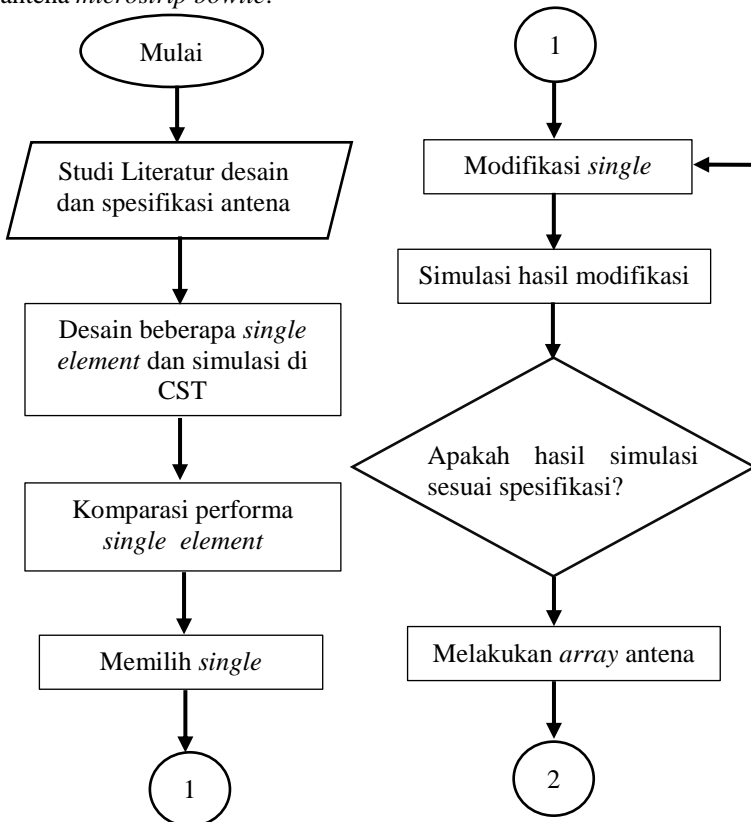
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

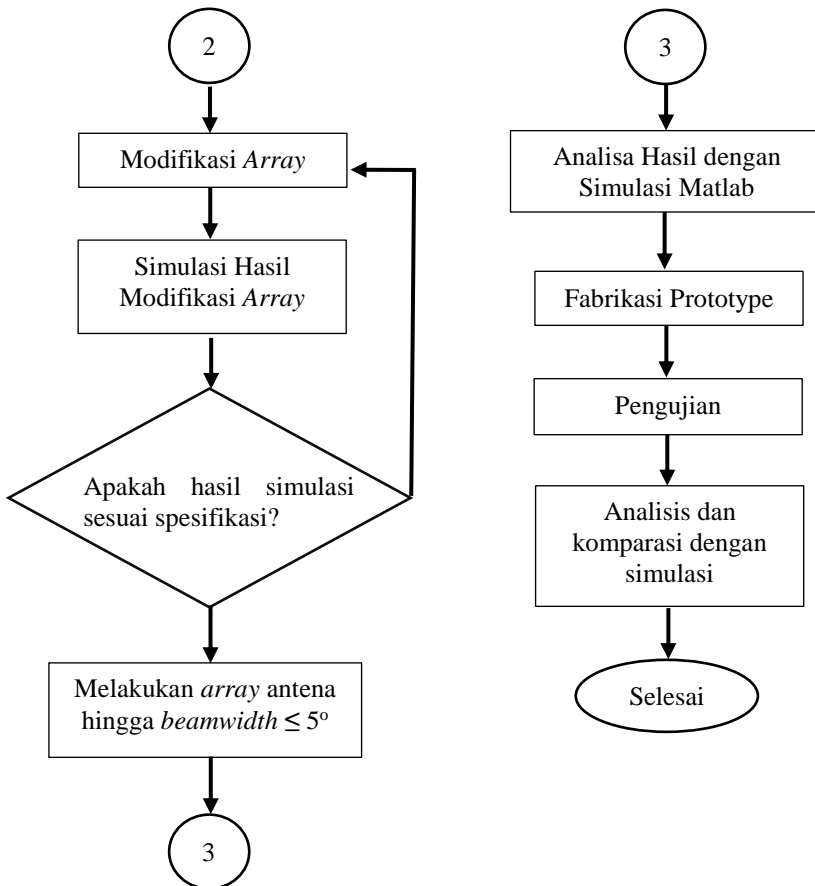
BAB 3

PERANCANGAN DAN SIMULASI

3.1 Diagram Alir Perancangan

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antenna *microstrip bowtie* ini, diantaranya adalah penentuan spesifikasi substrat, pemilihan bentuk *single element*, penentuan dimensi *single element*, penggabungan *single element*, melakukan *array* antenna, dan membandingkan hasil simulasi CST, pengukuran dan hasil simulasi dengan MATLAB. Setelah menentukan perancangan tersebut akan disimulasikan dan difabrikasi kemudian dilakukan pengukuran. Berikut diagram alir perancangan antenna *microstrip bowtie*:





Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena *Bowtie*

3.2 Spesifikasi Rancangan

Antena *bowtie* yang akan direalisasikan dalam tugas akhir ini adalah antenna yang dapat bekerja pada frekuensi *S-band* yang memiliki karakteristik wideband. Adapun spesifikasi perancangan antenna *bowtie* adalah sebagai berikut.

3.2.1 Parameter Antena

Perancangan antena *microstrip bowtie* dimulai dengan menentukan parameter antena yang akan diukur. Selain parameter antena, juga ditentukan nilai dari parameter yang diukur. Parameter yang diukur antara lain parameter $S_{1,1}$, VSWR, *Bandwidth* dan *Beamwidth*.

Tabel 3.1 Parameter antena yang Diukur

Parameter	Nilai
Parameter $S_{1,1}$	≤ -10 dB
VSWR	≤ 2
<i>Bandwidth</i>	<i>S-band</i> (2-4 GHz)
<i>Beamwidth</i>	$\leq 5^\circ$

3.2.2 Bahan PCB dan Patch

Dalam melakukan fabrikasi antena, bahan yang digunakan digunakan dalam perancangan antena *microstrip* ini yaitu PCB jenis FR-4. Bahan jenis ini digunakan karena bahannya cenderung mudah didapatkan pada tempat fabrikasi antena yang ada di Indonesia. Untuk *patch* dan jalur feeding antena menggunakan bahan tembaga. Adapun spesifikasi PCB yang digunakan ditampilkan pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi PCB

Spesifikasi	Besaran
Permitivitas bahan (ϵ_r)	4.7 mm
Tebal <i>substrate</i>	1.6 mm
Tebal <i>patch</i>	0.035 mm

Dalam proses fabrikasinya, nilai epsilon tidak selalu sama dan dapat berubah-ubah bergantung dengan bahan yang tersedia dari pihak produsen. Hal ini dapat mempengaruhi hasil fabrikasi antena karena terdapat ketidaksesuaian dengan hasil simulasi.

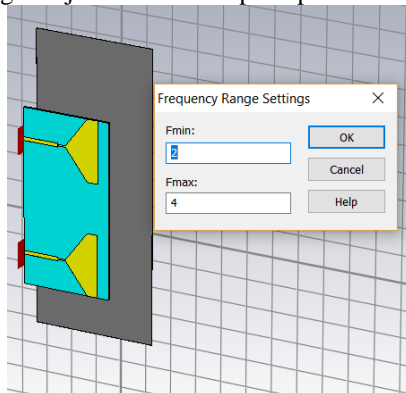
3.3 Simulasi dengan CST

Pada tugas akhir ini digunakan software CST Studio 2016 untuk mensimulasikan antena yang dirancang. Pada CST Studio 2016 dipilih module CST *Microwave* Studio untuk mensimulasikan desain antena. Unit sebelumnya diatur dengan skala panjang (mm), frekuensi (GHz), Waktu (second) dan Suhu (Kelvin). Sebelum memulai simulasi, terdapat

beberapa hal yang perlu diperhatikan agar hasil simulasi sesuai dengan yang diharapkan.

3.3.1 Pengaturan Frekuensi

Range frekuensi yang digunakan dalam tugas akhir ini ada dua macam. *range* pertama, frekuensi diatur dengan nilai minimal 0 dan maksimal 10 dalam satuan GHz. Range frekuensi ini digunakan untuk mensimulasikan desain *single element* yang diambil dari paper terpilih agar bisa mendekati dengan performa asli pada paper. Range frekuensi ini juga nantinya digunakan untuk membandingkan nilai S-Parameter antenna yang disimulasikan. Range kedua, frekuensi diatur dengan nilai minimal 2 dan maksimal 4 dalam satuan GHz. Range frekuensi ini digunakan untuk mensimulasikan desain *single element* yang sudah dioptimasi dan antenna *array* dengan tujuan untuk mempercepat durasi simulasi.

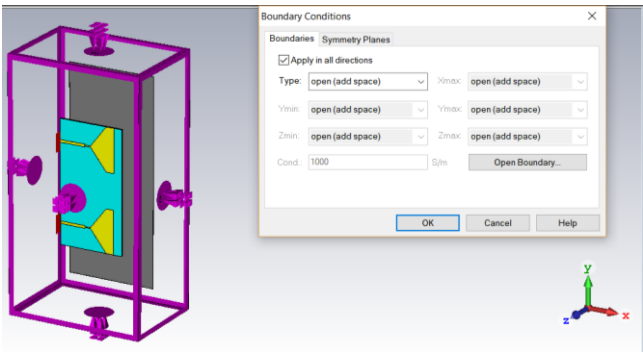


Gambar 3.2 Pengaturan Frekuensi

3.3.2 Pengaturan Boundaries

Pengaturan boundaries dilakukan karena komputer hanya mampu menghitung desain yang memiliki batas tertentu. Pengaturan dapat dilakukan pada bagian Simulasi → *box boundaries*. Bentuk boundaries digambarkan dengan bentuk kotak dan warna ungu seperti pada gambar dibawah. Pada simulasi, digunakan *boundaries open (add space)* dan *apply* pada semua arah. Pemilihan ini didasarkan karena, boundaries open *add space* beroperasi seperti ruang bebas, namun menambahkan beberapa ruang ekstra (vakum) antara kotak pembatas dengan ruang bebas. Umumnya pengaturan ini memberikan hasil terbaik dalam melakukan

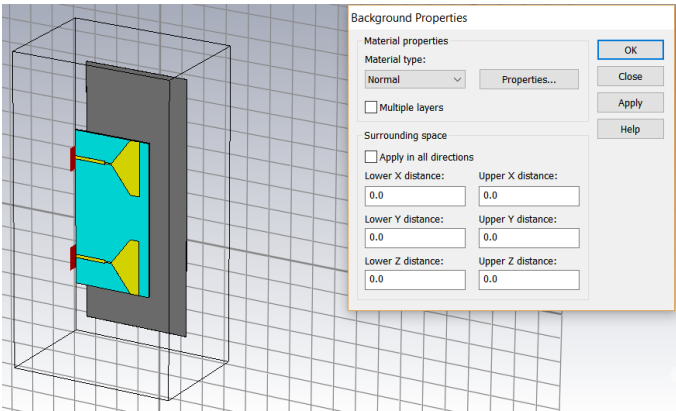
semulasi antenna karena simulasi antenna dikondisikan dalam kondisi ideal di ruang bebas.



Gambar 3.3 Pengaturan Boundaries

3.3.3 Pengaturan Background

Pengaturan *background* adalah pengaturan dimana pada simulasi dipilih material yang akan memenuhi volume simulasi. Untuk antenna, umumnya yang digunakan adalah udara. Pada pengaturan ini dipilih normal karena memiliki karakteristik seperti pada kondisi ruang bebas. Untuk merubahnya pilih bagian simulasi → *background* → ubah *material type* menjadi normal.

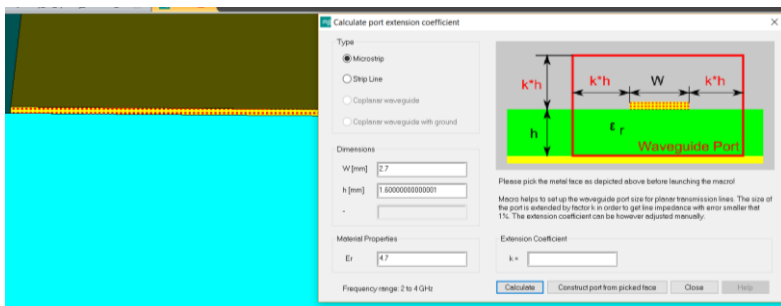


Gambar 3.4 Pengaturan Background

3.3.4 Pengaturan Port

Secara umum, definisi *port Waveguide* memerlukan melampirkan seluruh bidang domain terisi di bagian penampang saluran transmisi dengan area pelabuhan. *Port* ini mensimulasikan *waveguide* tak terhingga panjang yang terhubung ke struktur. Mode *Waveguide* bergerak keluar dari struktur menuju bidang batas sehingga meninggalkan domain komputasi dengan tingkat refleksi yang sangat rendah hingga di bawah -100 dB dalam beberapa kasus. Refleksi yang sangat rendah dapat dicapai bila pola mode *waveguide* di *port* cocok dengan pola mode dari *waveguides* di dalam struktur. Untuk menentukan *port Waveguide* dengan benar bergantung pada jenis saluran transmisi. Sinyal input dari *port Waveguide* dinormalisasi menjadi daya puncak 1 sqrt (Watt).

Teknik pencatutan *microstrip* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *microstrip* line feeding. Hal ini dilakukan karena metode ini akan lebih cepat untuk menentukan nilai impedansi mendekati 50 Ohm ketika dilakukan *sweep*. Untuk membuat *waveguide port* pada antenna *microstrip* dapat dilakukan dengan cara *pick face* pada ujung *line feed* antenna *microstrip*. Kemudian pada bagian home klik *macro* → *port* → *calculate port extension coefficient*. Lalu klik *contruct port from picked face*.



Gambar 3.5 Pengaturan Port

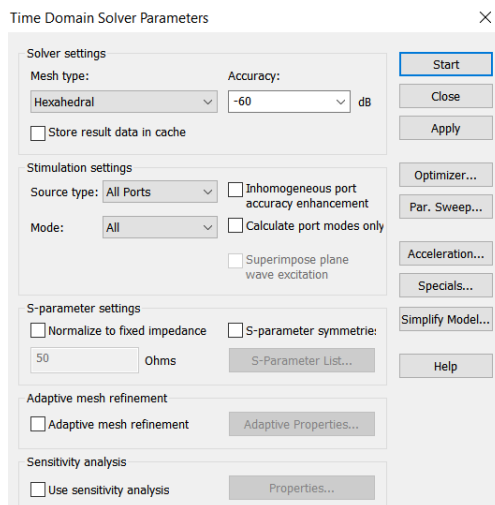
3.3.5 Pengaturan Solver

Time Domain Solver bekerja dengan cara menghitung pengembangan bidang terhadap di lokasi waktu diskrit dan pada sampel waktu diskrit. *Time Domain Solver* menghitung transmisi energi antara berbagai *port* atau sumber eksitasi lainnya dan / atau ruang terbuka dari

struktur yang diselidiki. Akibatnya, *Time Domain Solver* sangat efisien untuk sebagian besar aplikasi frekuensi tinggi seperti konektor, jalur transmisi, filter, antena, dan lain-lain dan dapat memperoleh keseluruhan perilaku frekuensi broadband dari perangkat simulasi dalam satu penghitungan.

Dalam CST MICROWAVE STUDIO terdapat dua macam *Time Domain Solver*. Salah satunya didasarkan pada *Finite Integration Technique* (FIT), yang disebut sebagai *Transient Solver*, yang kedua didasarkan pada *Transmission Line Method* (TLM) dan disebut sebagai *TLM Solver*. Kedua metode ini bekerja pada grid hexahedral, bagaimanapun, setup mesh sedikit berbeda dan diklasifikasikan sebagai Hexahedral dan Hexahedral TLM mesh.

Dalam kotak dialog *Time Domain Solver Parameters* dapat dipilih Transient atau TLM solver dengan memilih tipe mesh Hexahedral atau Hexahedral TLM. Adapun untuk mengaturnya dapat memilih dialog simulation → setup solver → *Time Domain Solver*. Kemudian akan muncul kotak dialog yang berisikan perintah seperti accuracy, adaptive mesh dll. Pada tugas akhir ini digunakan accuracy -60 dB untuk simulasi *single element* dan -40 dB untuk antena *array*. Untuk parameter line di kotak dialog tersebut tidak diubah dan disetting berdasarkan default dari CST Studio 2016.



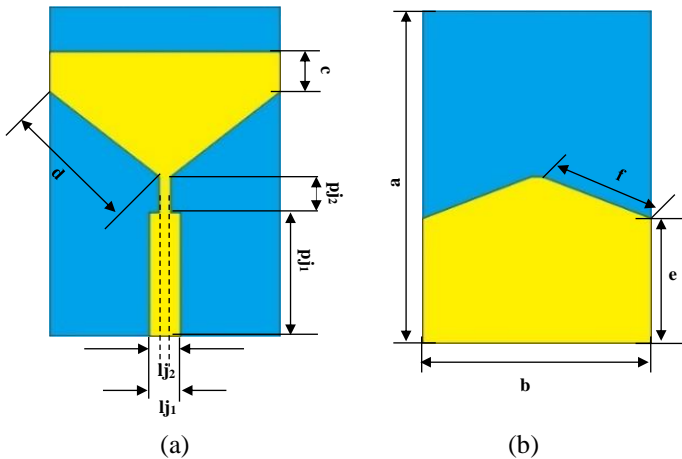
Gambar 3.6 Pengaturan *Time Domain Solver*

3.4 Desain dan Simulasi *Single element*

Pada tahapan ini, dicoba beberapa *single element* yang didapatkan dari *paper* referensi. Desain dibuat semirip mungkin ukurannya dengan yang terdapat pada paper agar hasil yang didapatkan optimal. *Single element* yang sudah didesain dan di simulasi adalah sebagai berikut :

3.4.1 *Single Element 1*

Desain *single element* pertama didapatkan dari *paper* referensi [7]. Bentuk geometri dan ukuran dimensi dari antenna *single element* 1 ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan tabel 3.3.



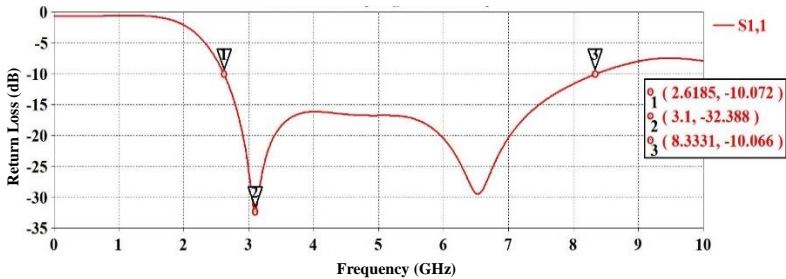
Gambar 3.7 Dimensi Antena *Single Element* 1, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang

Tabel 3.3 Dimensi Antena 1

Parameter	Dimensi
Panjang PCB (a)	33,5 mm
Lebar PCB (b)	23 mm
Lebar Resonator (c)	4,06 mm
Tinggi Resonator (d)	13,98 mm
Panjang Ground (e)	11,5 mm

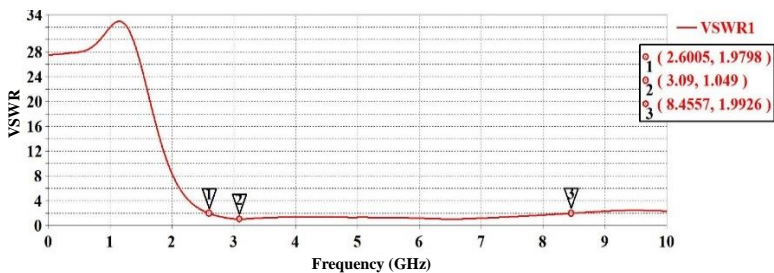
Parameter	Dimensi
Tinggi Ground (f)	11,5 mm
Panjang jalur 1 (pj_1)	13,5 mm
Panjang jalur 2 (pj_2)	3,5 mm
Lebar jalur 1 (lj_1)	2,7 mm
Lebar jalur 2 (lj_2)	1 mm

Bentuk geometri yang sudah dirancang berdasarkan gambar 3.7 dan ukuran dimensi berdasarkan tabel 3.3 disimulasikan menggunakan software CST untuk dianalisa performa antenna yaitu parameter $S_{1,1}$, VSWR dan farfield antenna. Hasil simulasi parameter $S_{1,1}$ digambarkan pada gambar 3.8. Hasil simulasi VSWR digambarkan pada gambar 3.9. Hasil simulasi farfield digambarkan pada gambar 3.10 dan 3.11.



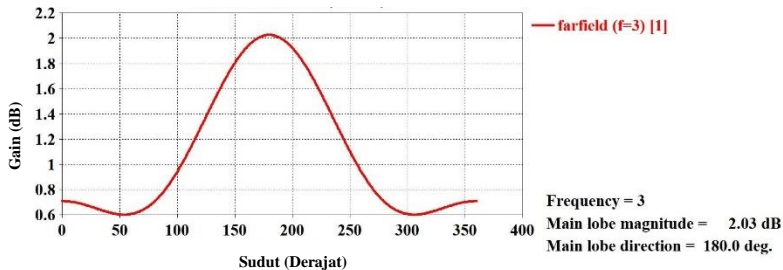
Gambar 3.8 Parameter $S_{1,1}$ Antena *Single element 1*

Pada gambar 3.8, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 0 hingga 10 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai parameter $S_{1,1}$ dari antenna *single element 1* sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2.67 – 4 GHz. Sedangkan bandwidth antenna berada pada rentang frekuensi 2,62-8,33 GHz. Pada rentang frekuensi *S-band* terlihat bahwa terdapat frekuensi resonansi yaitu pada frekuensi 3.1 GHz dengan nilai -32,39 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut.



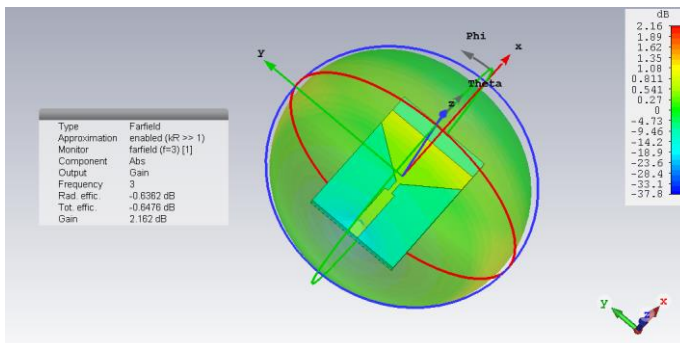
Gambar 3.9 VSWR Antena *Single element 1*

Pada gambar 3.9, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 3.9 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.



Gambar 3.10 Farfield 2D Antena *Single element* 1

Pada gambar 3.10, sumbu x menunjukkan rentang sudut yang disimulasikan yaitu dari 0° sampai 360° dan sumbu y menunjukkan nilai gain antenna. Simulasi ini dilakukan dengan frekuensi monitoring pada 3 GHz. Dipilihnya frekuensi 3 GHz dikarenakan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari frekuensi S-Band dan juga merupakan frekuensi tengah dari bandwidth antenna yang dibutuhkan dalam konsorsium berdasarkan pada tabel 2.1. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki nilai gain sebesar 2,03 dB pada sudut 180° .

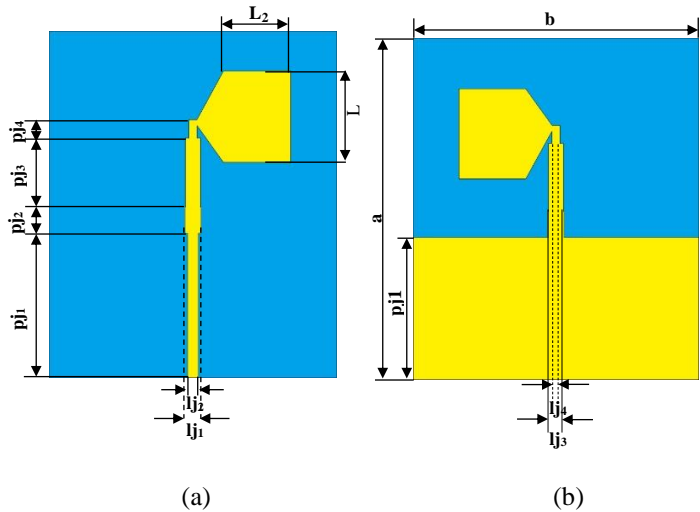


Gambar 3.11 Farfield 3D Antena *Single element* 1

Pada gambar 3.11 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 3D. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa bentuk polarisasi antenna adalah omnidirectional kearah broadside dikarenakan bentuk pola pacarannya adalah berbentuk bola dengan nilai maksimal pada sumbu z. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan pola pancaran azimuth antenna, sedangkan lingkayan biru menunjukkan pola pancaran elevasi antenna.

3.4.2 Single Element 2

Desain *single element* kedua didapatkan dari *paper* referensi kedua [5]. Bentuk geometri dan ukuran dimensi dari antenna *single element* 2 ditunjukkan pada Gambar 3.12 dan tabel 3.4.



Gambar 3.12 Dimensi *Single element* 2, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang

Tabel 3.4 Dimensi Antena 2

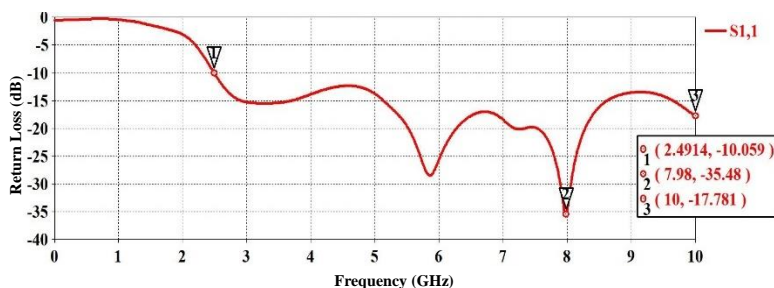
Parameter	Dimensi
Panjang PCB (a)	60 mm
Lebar PCB (b)	50 mm
Lebar Resonator (L)	15,8 mm

Parameter	Dimensi
Panjang jalur 3 (pj3)	11,9 mm
Panjang jalur 4 (pj4)	3,2 mm
Lebar jalur 1 (lj1)	1,87 mm

Panjang Resonator (L_2)	11,7 mm
Panjang jalur 1 (p_{j1})	25 mm
Panjang jalur 2 (p_{j2})	4,6 mm

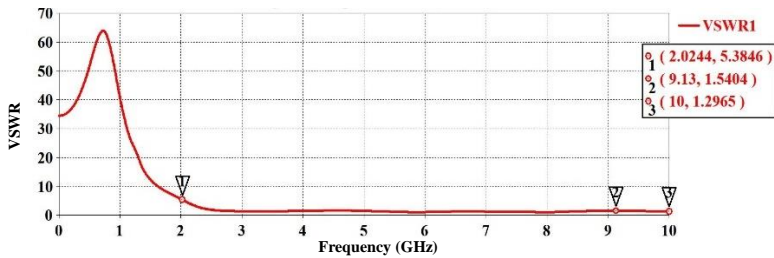
Lebar jalur 2 (lj_2)	2,8 mm
Lebar jalur 3 (lj_3)	2,6 mm
Lebar jalur 4 (lj_4)	1,4 mm

Bentuk geometri yang sudah dirancang berdasarkan gambar 3.12 dan ukuran dimensi berdasarkan tabel 3.4 disumulasikan menggunakan software CST untuk dianalisa peforma antenna yaitu parameter $S_{1,1}$, VSWR dan farfiled antenna. Hasil simulasi parameter $S_{1,1}$ digambarkan pada gambar 3.13. Hasil simulasi VSWR digambarkan pada gambar 3.14. Sedangkan hasil simulasi farfiled digambarkan pada gambar 3.15 dan 3.16.



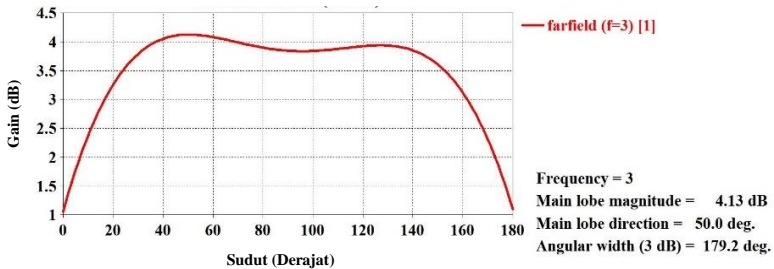
Gambar 3.13 Parameter $S_{1,1}$ Antenna *Single element* 2

Pada gambar 3.13, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 0 hingga 10 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai paramter $S_{1,1}$ dari antenna *single element* 2 sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2,49 – 4 GHz. Sedangkan bandwidth antenna berada pada rentang frekuensi 2,49-10 GHz. Akan tetapi, bandwidth antenna ini bisa lebih lebar dikarenakan pada frekuensi 10 GHz masih memiliki nilai -17,78 dB dan grafik menunjukkan kecenderungan mengalami penurunan. Frekuensi resonansi tidak berada pada frekuensi *S-band* sehingga mengindikasikan antenna tidak bisa bekerja maksimal pada frekuensi tersebut. Nilai $S_{1,1}$ terendah berada pada frekuensi 7,98 GHz dengan nilai -35,49 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut.



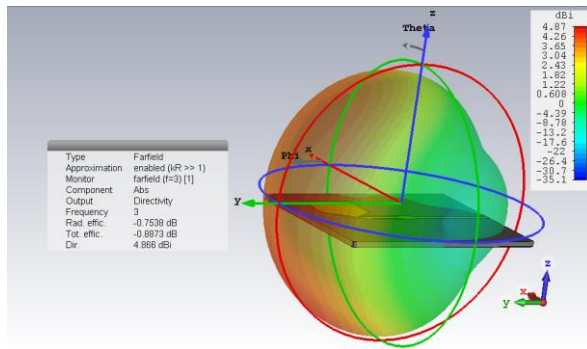
Gambar 3.14 Nilai VSWR Antena *Single element 2*

Pada gambar 3.14, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 3.14 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.



Gambar 3.15 Bentuk *Farfield 2D* Antena *Single element 2*

Pada gambar 3.15, sumbu x menunjukkan rentang sudut yang disimulasikan yaitu dari 0° sampai 360° dan sumbu y menunjukkan nilai gain antenna. Simulasi ini dilakukan dengan frekuensi monitoring pada 3 GHz. Dipilihnya frekuensi 3 GHz dikarenakan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari frekuensi S-Band dan juga merupakan frekuensi tengah dari bandwidth antenna yang dibutuhkan dalam konsorsium berdasarkan pada tabel 2.1. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki nilai gain sebesar 4,13 dB.



Gambar 3.16 Bentuk *Farfield* 3D Antena *Single element* 2

Pada gambar 3.16 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 3D. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa bentuk polarisasi antenna adalah directional dikarenakan bentuk pola pacarannya dominan pada arah tertentu. Arah pola radiasi antenna juga menunjukkan ke arah endfire dikarenakan nilai maksimalnya berada pada sumbu y. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan pola pancaran azimuth antenna, sedangkan lingkaran biru menunjukkan pola pancaran elevasi antenna.

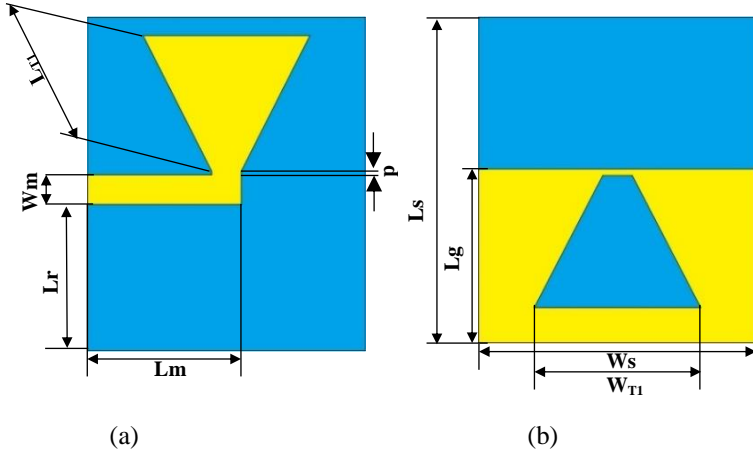
3.4.3 *Single Element* 3

Desain *single element* ketiga didapatkan dari *paper* referensi [8]. Bentuk geometri dan ukuran dimensi dari antenna *single element* 2 ditunjukkan pada Gambar 3.17 dan tabel 3.5.

Tabel 3.5 Dimensi Antena 3

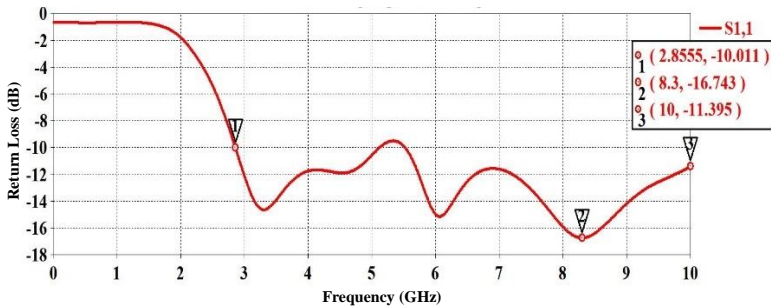
Parameter	Dimensi
Panjang PCB (L_S)	60 mm
Lebar PCB (W_S)	50 mm
Lebar Jalur Feeding (W_{T1})	15,8 mm
Panjang Jalur Feeding (L_{T1})	11,7 mm

Parameter	Dimensi
Panjang Ground (L_g)	1,87 mm
Panjang Inset (P)	2,8 mm
Lebar Jalur Feeding (L_m)	11,9 mm
Panjang Jalur Feeding (W_m)	3,2 mm



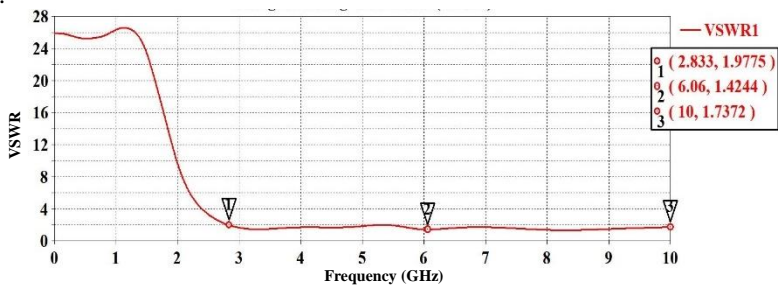
Gambar 3.17 Dimensi *Single element 3*, (a) Tampak depan, (b) Tampak belakang

Bentuk geometri yang sudah dirancang berdasarkan gambar 3.17 dan ukuran dimensi berdasarkan tabel 3.5 disimulasikan menggunakan software CST untuk dianalisa peforma antenna yaitu parameter $S_{1,1}$, VSWR dan farfield antenna. Hasil simulasi parameter $S_{1,1}$ digambarkan pada gambar 3.18. Hasil simulasi VSWR digambarkan pada gambar 3.19. Sedangkan hasil simulasi farfield digambarkan pada gambar 3.20 dan 3.21.



Gambar 3.18 Parameter $S_{1,1}$ Antenna *Single element 3*

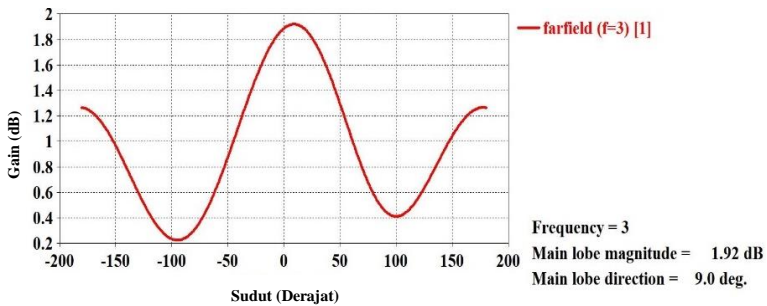
Pada gambar 3.18, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 0 hingga 10 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai parameter $S_{1,1}$ dari antenna *single element* 3 sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2.85–4 GHz. Sedangkan bandwidth antenna berada pada rentang frekuensi 2,85–10 GHz. Akan tetapi, bandwidth antenna ini bisa sedikit lebih lebar dikarenakan pada frekuensi 10 GHz masih memiliki nilai -11,39 dB dan grafik menunjukkan kecenderungan mengalami kenaikan. Frekuensi resonansi tidak berada pada frekuensi *S-band* sehingga mengindikasikan antenna tidak bisa bekerja maksimal pada frekuensi tersebut. Nilai $S_{1,1}$ terendah berada pada frekuensi 8,3GHz dengan nilai -16,74 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut



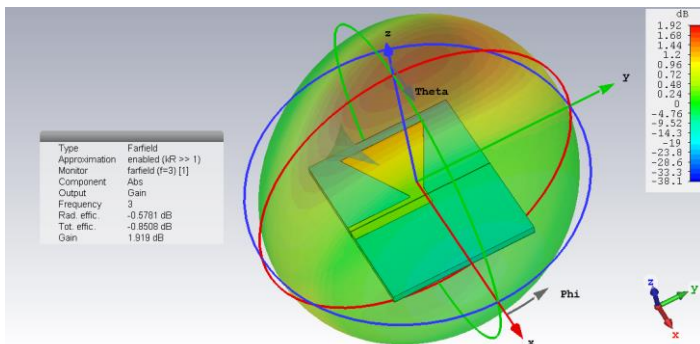
Gambar 3.19 Nilai VSWR Antena *Single element* 3

Pada gambar 3.19, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 3.19 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.

Pada gambar 3.20, sumbu x menunjukkan rentang sudut yang disimulasikan yaitu dari 0° sampai 360° dan sumbu y menunjukkan nilai gain antenna. Simulasi ini dilakukan dengan frekuensi monitoring pada 3 GHz. Dipilihnya frekuensi 3 GHz dikarenakan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari frekuensi *S-Band* dan juga merupakan frekuensi tengah dari bandwidth antenna yang dibutuhkan dalam konsorsium berdasarkan pada tabel 2.1. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki nilai gain sebesar 1,92 dB.



Gambar 3.20 Farfield 2D Antena Single element 3



Gambar 3.21 Farfield 3D Antena Single element 3

Pada gambar 3.21 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 3D. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa bentuk polarisasi antenna adalah omnidirectional dikarenakan bentuk pola pacarannya dominan pada arah tertentu. Arah pola radiasi antenna juga menunjukkan ke arah broadside dikarenakan nilai maksimalnya berada pada sumbu z. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan pola pancaran azimuth antenna, sedangkan lingkaran biru menunjukkan pola pancaran elevasi antenna..

3.5 Analisa Komparasi dan Pemilihan *Single element*

Analisa komparasi antenna *single element* dilakukan setelah hasil simulasi dari setiap antenna *single element* didapatkan. Adapaun parameter yang dibandingkan dari ketiga desain yang telah disimulasikan yaitu,

bandwidth, *beamwidth*, *peak S_{1,1}*, *gain*, dan pola radiasi. Selain kelima parameter tersebut, faktor kemudahan dalam simulasi dan proses modifikasi antenna *single element* juga mempengaruhi keputusan dalam pemilihan antenna *single element* yang akan digunakan sebagai antenna referensi untuk tugas akhir ini. Kemudahan proses diwakilkan oleh jumlah *mesh cell* yang dimiliki pada setiap antenna pada saat melakukan simulasi. Hasil komparasi *single element* dari ketiga antenna yang sudah disimulasikan dirangkum dalam tabel 3.6.

Tabel 3.6 Komparasi Antena *Single element*

Parameter	Antena 1	Antena 2	Antena 3
<i>Bandwidth</i>	2.6–8.3 GHz	2.49-10 GHz	2.8-10 GHz
<i>Beamwidth</i>	360°	360°	360°
Frekuensi Resonansi	-32,39 dB pada 3.1 GHz	-35,48 dB pada 7,98 GHz	-16,73 dB pada 8.33 GHz
<i>Gain</i>	2.03 dB	4.13 dB	1.92 dB
Pola Radiasi	<i>Broadside</i>	<i>Endfire</i>	<i>Broadside</i>
<i>Mesh cell</i> (0-10 GHz)	94.192	487.782	496.762

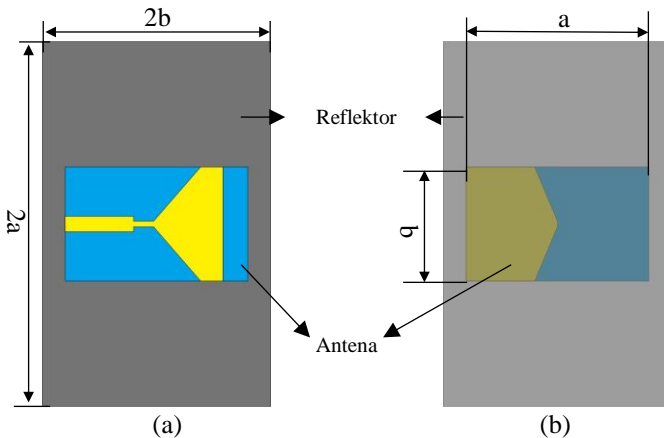
Berdasarkan hasil tabel 3.6 didapatkan bahwa ketiga element mampu bekerja pada frekuensi *S-band*. Akan tetapi, hanya antenna 1 yang memiliki frekuensi resonansi pada frekuensi *S-band*. Selain itu, antenna 1 juga relatif lebih mudah dimodifikasi dikarenakan jumlah *mesh cell* yang dibutuhkan 10x lebih kecil. sehingga waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi dan modifikasi antena akan lebih cepat dan lebih mudah. Berdasarkan parameter tersebut antenna *single element* 1 dipilih sebagai antenna referensi untuk tugas akhir ini.

3.6 Modifikasi *Single Element* Terpilih

Pada tahap ini dilakukan modifikasi terhadap dimensi antenna yaitu pada panjang dan lebar antenna dengan cara melakukan penskalaan ukuran antenna dan lebar jalur feeding antenna. Selain dimensi antenna, juga dilakukan modifikasi dengan penambahan reflektor pada antenna untuk mengubah bentuk pola radiasi omnidirectional yang dimiliki antenna terpilih menjadi directional

3.6.1 Modifikasi dengan Penambahan Reflektor

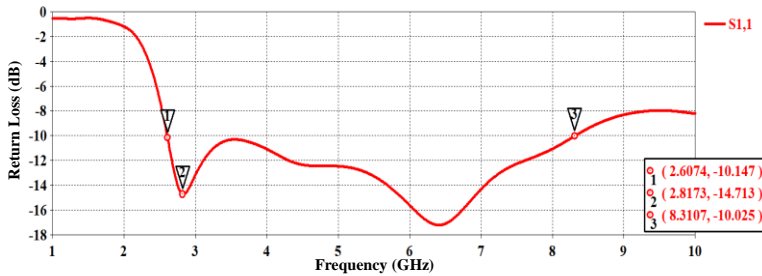
Modifikasi dilakukan dengan cara menambahkan element reflektor pada bagian belakang antenna menghadap ke arah *ground plane* antenna. Penambahan element reflektor ini menggunakan bahan seng dengan ketebalan 2 mm sesuai dengan yang dijual di pasaran. Ukuran dari reflektor ini dibuat sebesar dua kali ukuran antenna yang di posisikan secara *landscape* atau horizontal dimana panjang reflektor sama dengan $2a$ dan lebar reflektor sama dengan $2b$. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan fungsi reflektor dan menghindari adanya daya yang bocor. Adapun tujuan dengan penambahan reflektor ini adalah mengurangi nilai backlobe dari antenna dan menambah nilai Gain antenna. Bentuk dasar geometri dan ukuran dimensi mengacu pada gambar 3.7 dan tabel 3.3. Bentuk geometri dari *single element* yang sudah dimodifikasi dengan reflektor ditunjukkan pada Gambar 3.22 dimana warna abu-abu menunjukkan reflektor dan warna biru dan kuning menunjukkan substart dan antenna.



Gambar 3.22 Dimensi *Single Element* Antena *Microstrip Bowtie* dengan reflektor, (a) Tampak depan, (b) Tampak belakang

Desain yang sudah dirancang berdasarkan gambar 3.22 dan tabel 3.3 disimulasikan menggunakan software CST untuk dianalisa peforma antenna yaitu parameter $S_{1,1}$, VSWR dan farfield antenna. Hasil simulasi parameter $S_{1,1}$ digambarkan pada gambar 3.23. Hasil simulasi

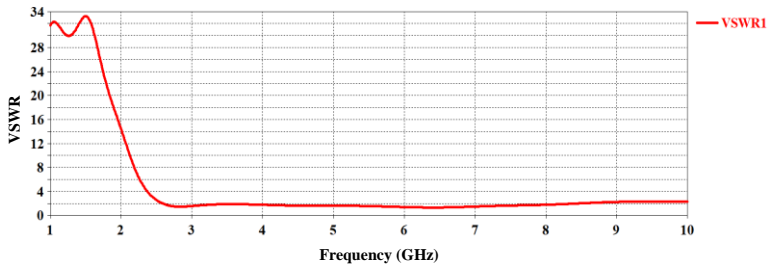
VSWR digambarkan pada gambar 3.24. Sedangkan hasil simulasi farfield digambarkan pada gambar 3.25 dan 3.26. Jarak antar reflektor pada simulasi ini diatur sejauh 25 mm.



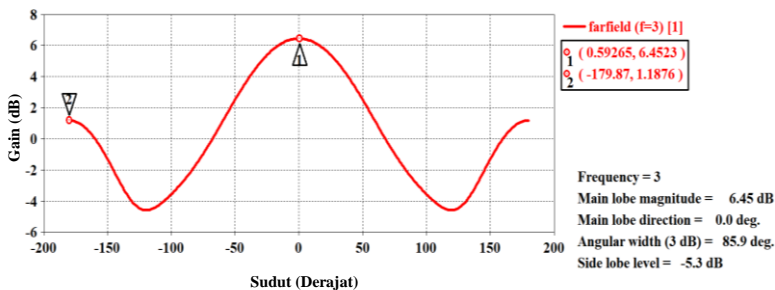
Gambar 3.23 Parameter $S_{1,1}$ Antena Terpilih dengan Reflektor

Pada gambar 3.23, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 0 hingga 10 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai paramter $S_{1,1}$ dari antenna *Microstrip Bowtie* dengan reflektor sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2,85– 4 GHz. Sedangkan bandwidth antenna berada pada rentang frekuensi 2,85-10 GHz. Akan tetapi, bandwidth antenna ini bisa sedikit lebih lebar dikarenakan pada frekuensi 10 GHz masih memiliki nilai -11,39 dB dan grafik menunjukkan kecenderungan mengalami kenaikan. Frekuensi resonansi tidak berada pada frekuensi *S-band* sehingga mengindikasikan antenna tidak bisa bekerja maksimal pada frekuensi tersebut. Nilai $S_{1,1}$ terendah berada pada frekuensi 6,46 GHz dengan nilai -17,14 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut

Pada gambar 3.24, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 3.24 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.



Gambar 3.24 *Farfield* 2D Antena Terpilih dengan Reflektor

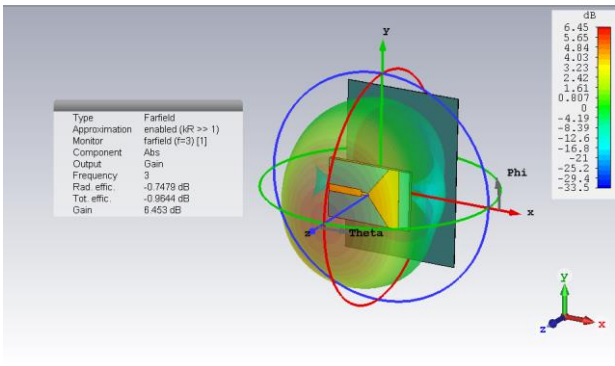


Gambar 3.25 *Farfield* 2D Antena Terpilih dengan Reflektor

Pada gambar 3.25, sumbu x menunjukkan rentang sudut yang disimulasikan yaitu dari 0° sampai 360° dan sumbu y menunjukkan nilai gain antenna. Simulasi ini dilakukan dengan frekuensi monitoring pada 3 GHz. Dipilihnya frekuensi 3 GHz dikarenakan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari frekuensi S-Band dan juga merupakan frekuensi tengah dari bandwidth antenna yang dibutuhkan dalam konsorsium berdasarkan pada tabel 2.1. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki nilai gain sebesar 6,45 dB dan backlobe sebesar 1,19 dB yang ditunjukkan oleh titik 2. Beamwidth antenna sendiri bernilai $85,9^\circ$.

Pada gambar 3.26 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 3D. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa bentuk polarisasi antenna adalah directional dikarenakan bentuk pola pacarannya dominan pada arah tertentu. Arah pola radiasi antenna juga menunjukkan ke arah broadside dikarenakan nilai maksimalnya berada pada sumbu z. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan pola pancaran azimuth

antena, sedangkan lingkaran biru menunjukkan pola pancaran elevasi antenna.



Gambar 3.26 Farfield 3D Antena Terpilih dengan Reflektor

Jarak antara reflektor dengan antenna juga dimodifikasi untuk menghasilkan hasil yang optimal. Jarak dari reflektor diubah-ubah dar lamda/8 hingga jarak terjauh sejauh lamda/2 dengan spasi jarak lamda/8. Frekuensi referensi dan monitoring yang digunakan adalah 3 GHz dengan pertimbangan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah pada frekuensi 3 GHz .Adapun hasil modifikasi jarak reflektor antenna dirangkum pada tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Perbandingan Jarak Reflektor

Jarak (mm)	Bandwidth (GHz)	Peak S _{1,1}	Backlobe (dB)	Gain (dB)	Beam width
12.5	5.12-8.54	-46.84 dB pada 6.58 GHz	3.96	5,62	80.5°
25	2.6-8.32	-14.69 dB pada 2.85 GHz dan -17.18 dB pada 6.42 GHz	1.94	6.45	85.9°
37.5	2.46-8.27	-24.47 dB pada 2.77 GHz, -27.88 dB pada 4.61 GHz dan	1.48	5.08	119°

		-35.51 dB pada 6.67 GHz			
50	2.53-8.46	-31.98 dB pada 3.40 GHz, dan -20.64 dB pada 6.43GHz	2.36	2.88	199°

Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel 3.7, dapat diketahui bahwa pada jarak 50 mm dianggap tidak sesuai dengan rumusan masalah pertama karena memiliki *beamwidth* $\geq 180^\circ$. Selanjutnya, bila melihat pada permasalahan pertama bahwa bandwidth antenna harus berada pada frekuensi *S-band*, maka jarak yang sesuai dengan permasalahan tersebut adalah pada jarak 25 mm dan 37,5 mm. Bila mempertimbangan nilai *gain* yang lebih tinggi dan *beamwidth* yang lebih sempit, maka jarak 25 mm dipilih untuk dijadikan jarak antara antenna dengan reflektor. Berdasarkan data pada tabel 3.7 dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan reflektor dapat meningkatkan gain antenna sebesar 4,44 dB dan mempersempit *beamwidth* hingga 274.1° dan mengubah karakteristik antenna menjadi *directional*. Akan tetapi, penambahan reflektor ini juga menggeser nilai parameter $S_{1,1}$ menjadi lebih jelek. Selain itu dengan dimensi antenna ini masi memiliki nilai *backlobe* yang besar yaitu 1,48 dB. Sehingga, untuk lebih meningkatkan kinerja dari antenna terpilih, perlu dilakukan proses modifikasi pada antenna yang akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

3.6.2 Penskalaan Dimensi Antena

Modifikasi dilakukan dengan cara melakukan penskalaan ukuran terhadap panjang dan lebar dari antenna. Penskalaan dilakukan dengann tujuan untuk memperoleh peningkatan peforma antenna yang signifikan. Pada proses ini dilakuakn penskalaan ukuran sebesar dua kali terhadap ukuran *resonator*, *groundplane* dan panjang jalur 1, panjang jalur2 dan dimensi reflektor dikarenakan aspek tersebut erat kaitannya dengan parameter antea yang diukur. Sedangkan lebar jalur tidak diskalakan karena akan berpengaruh signifikan terhadap nilai impedansi antenna. Bentuk dasar geometri dan ukuran dimensi mengacu pada gambar 3.7 dan tabel 3.3. Adapun dimensi antenna setelah mengalami penskalaan adalah sebagai berikut.

Tabel 3.8 Perbandingan Dimensi Antena Awal Dengan Antena yang Telah Diskalakan

Paramter	Dimensi Awal	Dimensi Modifikasi
Panjang PCB (a)	33,5 mm	67 mm
Lebar PCB (b)	23 mm	46 mm
Lebar Resonator (c)	4,06 mm	8,12 mm
Tinggi Resonator (d)	13,98 mm	28,38 mm
Panjang Ground (e)	11,5 mm	23 mm
Tinggi Ground (f)	11,5 mm	23 mm
Panjang jalur 1 (pj ₁)	13,5 mm	27 mm
Panjang jalur 2 (pj ₂)	3,5 mm	7 mm
Lebar jalur 1 (lj ₁)	2,7 mm	2,7 mm
Lebar jalur 2 (lj ₂)	1 mm	1 mm

Bentuk geometri antena ini sama seperti pada gambar 3.7 dan 3.22. Parameter yang diamati dari hasil simulasi penskalaan antena adalah *bandwidth*, *peak S_{1,1}*, *backlobe*, *gain* dan lebar *beamwidth*. Hasil perbandingan antara antena awal dengan yang sudah diskalakan dirangkum pada tabel 3.5.

Tabel 3.9 Perbandingan Antara Antena Awal Dengan Antena yang Telah Diskalakan

Skala	<i>Bandwidth</i> (GHz)	<i>Peak S_{1,1}</i>	<i>Backlobe</i> (dB)	<i>Gain</i> (dB)	<i>Beam width</i>
1x	2.61-8.31	-14.51 dB pada 2.89GHz -16.8 @6.44GHz	1.94	6.45	85.9°
2x	2.57-4.47	-48.26 @3.37GHz	-5.78	7.83	72.8°

Berdasarkan data pada tabel 3.9, diketahui bahwa penskalaan antena berdampak positif terhadap peforma antena. Hal ini terlihat dari parameter *bandwidth*, *peak S_{1,1}*, *backlobe*, *gain* dan lebar *beamwidth* yang diukur. Pada *bandwidth* antena, terlihat bahwa pada frekuensi *S-band*,

terjadi pelebaran frekuensi kerja dan nilai peak parameter $S_{1,1}$ juga lebih kecil. Hal ini mengindikasikan performa antenna pada frekuensi *S-band* yang lebih baik dari sebelumnya. Nilai *gain* juga naik sebesar 1.3 dB sedangkan nilai *backlobenya* mengecil sebesar 7.72 dB. *Beamwidth* antenna juga mengalami pengecilan sebesar 13.1° . Sehingga dapat disimpulkan bahwa, penskalaan memperoleh hasil yang lebih baik dengan desain sebelumnya. Hasil penskalaan ini dijadikan acuan dalam melakukan proses modifikasi pada subbab berikutnya.

3.6.3 Modifikasi Lebar Jalur Feeding

Modifikasi dilakukan dengan cara melakukan *sweep* terhadap lebar jalur feeding 1 dan jalur feeding 2. *Sweep* dilakukan untuk menggeser frekuensi kerja antenna sehingga sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Dimensi yang dijadikan acuan sesuai dengan pada tabel 3.8. *Sweep* pada lebar jalur 1 dimulai dari 2 hingga 3 mm dengan spasi 0.1 mm dan lebar jalur feeding 2 dari antenna dimulai dari 5 hingga 15 mm dengan spasi 0.1 mm. Parameter yang diamati dari hasil simulasi modifikasi lebar jalur 1 dan lebar jalur 2 adalah *bandwidth* dan *peak* $S_{1,1}$. Parameter yang diamati hanya kedua paramter tersebut dikarenakan pada tahap ini ingin dicari antenna yang memiliki kinerja terbaik pada frekuensi *S-band*. Hasil dari proses *sweeping* dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.10 Parameter *Sweep* Lebar Jalur Antena

No	lebar jalur 1 (mm)	lebar jalur 2 (mm)	<i>Bandwidth</i> (GHz)	<i>Peak</i> $S_{1,1}$
1	2.7	0.7	2.36-4.40	-30.80 dB pada 3.56 GHz
2	2.7	0.8	2.39-4.39	-33.41 dB pada 3.51 GHz
3	2.7	0.9	2.44-4.44	-48.80 dB pada 3.45 GHz
4	2.7	1	2.53-4.48	-48.12 dB pada 3.37 GHz
5	2.7	1.1	2.58-4.47	-37.56 dB pada 3.34 GHz
6	2.8	0.7	2.36-4.41	-30.28 dB pada 3.57 GHz
7	2.8	0.8	2.39-4.43	-36.69 dB pada 3.54 GHz
8	2.8	0.9	2.42-4.41	-41.61 dB pada 3.49 GHz
9	2.8	1	2.55-4.50	-52.56 dB pada 3.37 GHz
10	2.8	1.1	2.58-4.48	-42.56 dB pada 3.34 GHz

11	2.9	0.7	2.37-4.40	-29.51 dB pada 3.58 GHz
12	2.9	0.8	2.39-4.43	-36.02 dB pada 3.56 GHz
13	2.9	0.9	2.42-4.44	-36.89 dB pada 3.52 GHz
14	2.9	1	2.49-4.49	-53.93 dB pada 3.41 GHz
15	2.9	1.1	2.56-4.50	-56.19 dB pada 3.34 GHz
16	3	0.7	2.37-4.40	-29.13 dB pada 3.60 GHz
17	3	0.8	2.39-4.42	-35.04 dB pada 3.57 GHz
18	3	0.9	2.41-4.45	-52.63 dB pada 3.54 GHz
19	3	1	2.49-4.50	-33.34 dB pada 3.43 GHz
20	3	1.1	2.53-4.51	-35.32 dB pada 3.38 GHz

Berdasarkan hasil pada tabel 3.10, didapatkan bahwa ukuran lebar jalur 1 dan lebar jalur 2 yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan adalah hasil nomor No. 15 dengan lebar jalur 1 2.9 mm dan lebar jalur 2 1.1 mm. Pemilihan lebar jalur tersebut didasarkan pada nilai *peak* Parameter $S_{1,1}$ yang berda paling dekat dengan frekuensi 3 GHz yaitu pada frekuensi 3,34 GHz dan memiliki nilai -56.19 dB yang merupakan nilai terendah dibandingkan dengan ukuran lainnya. Sehingga dapat disimpulkan peforma antenna terbaik pada lebar jalur tersebut.

3.7 Pemilihan Ukuran *Single Element*

Pemilihan Ukuran *single element* optimum dilakukan dengan melihat hasil keseluruhan simulasi yang telah dilakukan. Bentuk geometri dan ukuran dimensi dari antenna *single element* terpilih ditunjukkan pada Gambar 3.27 dan tabel 3.11. Sedangkan bentuk geometri dari antenna terpilih dengan reflektor ditunjukkan sama seperti pada gambar 3.22. Dimensi antenna ini kemudian disimulasikan untuk melihat peforma dari antenna tersebut. Adapun parameter yang diamati dari hasil simulasi CST adalah parameter $S_{1,1}$, VSWR dan *farfield* yang terdiri dari nilai *gain*, *backlobe* dan *beamwidth* antenna.

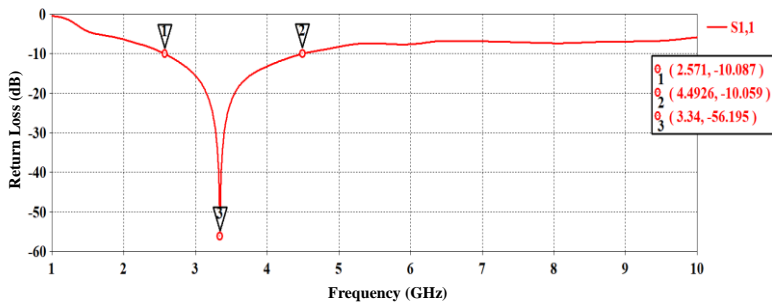
Tabel 3.11 Dimensi Antena Terpilih

Parameter	Dimensi	Parameter	Dimensi
Panjang PCB (a)	67 mm	Tinggi Ground (f)	23 mm
Lebar PCB (b)	46 mm	Panjang jalur 1 (p_{j1})	27 mm
Lebar Resonator (c)	8,12 mm	Panjang jalur 2 (p_{j2})	7 mm

Tinggi Resonator (d)	28,38 mm
Panjang Ground (e)	23 mm

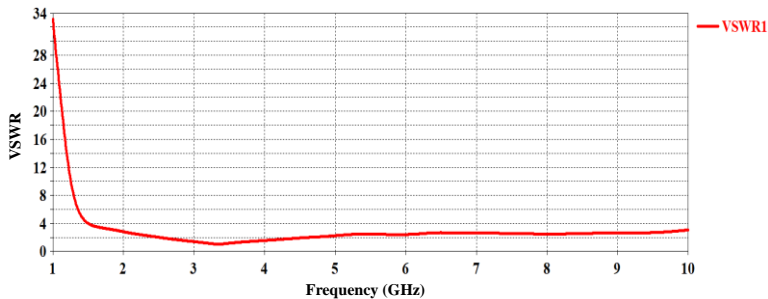
Lebar jalur 1 (l_{j1})	2,9 mm
Lebar jalur 2 (l_{j2})	1,1 mm

Bentuk geometri yang sudah dirancang berdasarkan gambar 3.7 dan ukuran dimensi berdasarkan tabel 3.11 disimulasikan menggunakan software CST untuk dianalisa peforma antenna yaitu parameter $S_{1,1}$, VSWR dan farfield antenna. Hasil simulasi parameter $S_{1,1}$ digambarkan pada gambar 3.27. Hasil simulasi VSWR digambarkan pada gambar 3.28. Sedangkan hasil simulasi farfield digambarkan pada gambar 3.29 dan 3.30. Jarak antar reflektor pada simulasi ini diatur sejauh 25 mm.



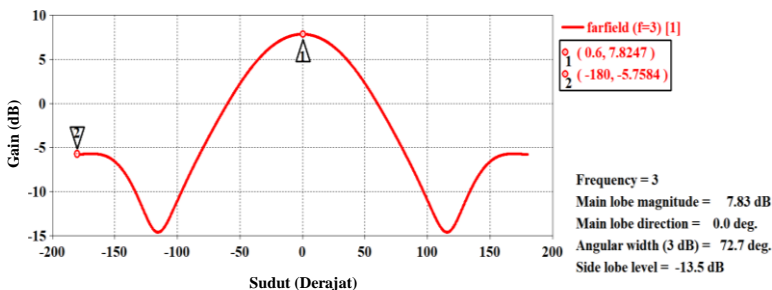
Gambar 3.27 Parameter $S_{1,1}$ Antena *Microstrip Bowtie Single Element* Terpilih

Pada gambar 3.27, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 1 hingga 10 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai paramter $S_{1,1}$ dari antenna *single element* terpilih sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2,57 – 4 GHz. Sedangkan bandwidth antenna berada pada rentang frekuensi 2,57-4,49 GHz. Pada rentang frekuensi *S-band* terlihat bahwa terdapat frekuensi resonansi yaitu pada frekuensi 3,34 GHz dengan nilai -46,19 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut.



Gambar 3.28 VSWR Antena *Microstrip Bowtie Single element* Terpilih

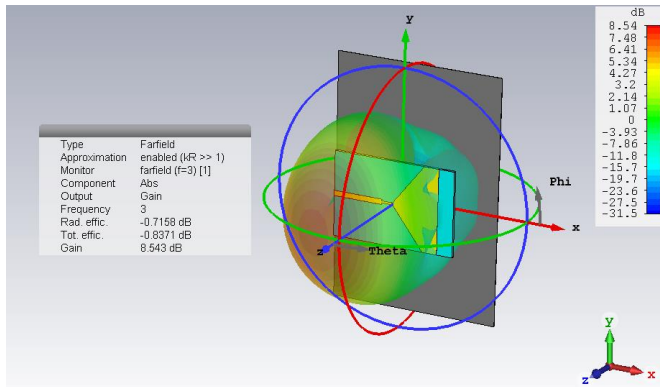
Pada gambar 3.28, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 3.28 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.



Gambar 3.29 *Farfield 2D* Antena *Microstrip Bowtie Single element* Terpilih

Pada gambar 3.29, sumbu x menunjukkan rentang sudut yang disimulasikan yaitu dari 0° sampai 360° dan sumbu y menunjukkan nilai gain antenna. Simulasi ini dilakukan dengan frekuensi monitoring pada 3 GHz. Dipilihnya frekuensi 3 GHz dikarenakan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari frekuensi S-Band dan juga merupakan frekuensi tengah dari bandwidth antenna yang dibutuhkan dalam konsorsium berdasarkan pada tabel 2.1. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki nilai gain sebesar 7,83dB dan backlobe

sebesar -5,76 dB yang ditunjukkan oleh titik 2. Beamwidth antenna sendiri bernilai 72,7°.

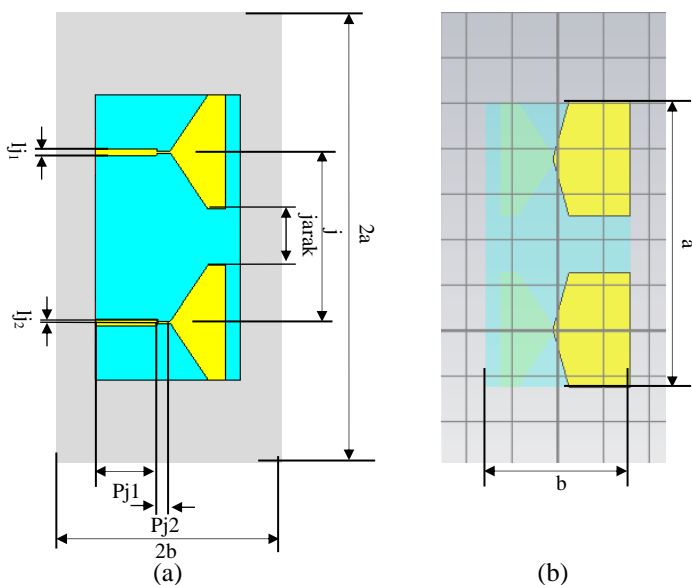


Gambar 3.30 Farfield 3D Antena *Microstrip Bowtie Single element* Terpilih

Pada gambar 3.30 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 3D. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa bentuk polarisasi antenna adalah directional dikarenakan bentuk pola pancarannya dominan pada arah tertentu. Arah pola radiasi antenna juga menunjukkan ke arah broadside dikarenakan nilai maksimalnya berada pada sumbu z. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan pola pancaran azimuth antenna, sedangkan lingkaran biru menunjukkan pola pancaran elevasi antenna.

3.8 Penggabungan *Single element* dan Modifikasi Antena Array

Pada tahap ini dilakukan proses *array* antenna *microstrip bowtie* sebanyak 2x1 *linear array*. Desain antenna yang digunakan adalah desain berdasarkan subbab sebelumnya. Ukuran antar element dibuat sama dan antara satu element dengan element yang lain tidak terhubung atau dengan kata lain terpisah oleh substrat FR-4. Pencatutan menggunakan metode *self excitation* dimana pada setiap element antenna diaktu dengan satu port SMA. Bentuk geometri dan ukuran dimensi dari antenna single element 1 ditunjukkan pada Gambar 3.32 dan tabel 3.12.



Gambar 3.31 Antena *Microstrip Bowtie Linear Array 2x1*, (a) Tampak depan, (b) Tampak belakang

Tabel 3.12 Dimensi Antena *Microstrip Bowtie Linear Array 2x1*

Parameter	Dimensi
Panjang PCB (a)	67 mm
Lebar PCB (b)	46 mm
Lebar Resonator (c)	8,12 mm
Tinggi Resonator (d)	28,38 mm
Panjang Ground (e)	23 mm
Tinggi Ground (f)	23 mm

Parameter	Dimensi
Jarak	25 mm
Jarak pusat (j)	71 mm
Panjang jalur 1 (pj ₁)	27 mm
Panjang jalur 2 (pj ₂)	7 mm
Lebar jalur 1 (lj ₁)	2,9 mm
Lebar jalur 2 (lj ₂)	1,1 mm

3.8.1 Modifikasi Jarak antar Element

Modifikasi jarak antar element dilakukan guna melihat pengaruhnya terhadap parameter yang diukur. Parameter yang diubah adalah parameter jarak seperti yang terdapat pada gambar 3.32 dan tabel 3.12. Pada tahap awal, jarak antar element adalah $\lambda/4$.

Kemudian, jarak antar element diubah-ubah dari nilai $\lambda/8$ hingga $\lambda/2$ dengan spasi $\lambda/8$. Nilai λ yang dipakai adalah nilai λ pada *free space* dengan frekuensi referensi adalah 3 GHz. Bentuk geometri dan ukuran dimensi dari antenna single element 1 ditunjukkan pada Gambar 3.32 dan tabel 3.12.

Pada tahap ini, antenna disimulasikan pada rentang frekuensi S-band yaitu pada frekuensi 2-4 GHz agar dapat lebih mudah mengamati performa antenna pada frekuensi tersebut. Parameter yang diamati dari hasil simulasi modifikasi jarak reflektor adalah *bandwidth*, *peak S_{1,1}*, *backlobe*, *gain* dan lebar *beamwidth*. Hasil simulasi dirangkum pada tabel 3.13 berikut.

Tabel 3.13 Parameter Sweep Jarak Antar Element Antena

Jarak (mm)	Bandwidth (GHz)	Peak S _{1,1}	Sidelobe (dB)	Gain (dB)	Beam width
12.5	3.15-3.70	-30.53 dB pada 3.41GHz	-13,37	11,2	40,4°
25	2.64-4.00	-40.32 dB pada 3.18GHz	-6,14	11,1	35,6°
37.5	2.10-4.00	-58.88 dB pada 2.94GHz	3,67	9,66	31,3°
50	2.00-4.00	-24.23 dB pada 2.66GHz	1,17	7,2	36,4°

Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel 3.13 dapat dilihat bahwa keempat jarak antenna dapat bekerja pada frekuensi S-band. Bila dilihat nilai *sidelobe* antenna, terlihat pada jarak 37,5 dan 50 mm memiliki nilai *backlobe* yang tinggi, sehingga kurang baik bila digunakan untuk antenna array. Sehingga jarak yang dapat digunakan adalah 12,5 dan 25 mm. Bila membandingkan antara jarak 12,5 dan 25 mm, nilai peak S_{1,1} pada jarak 25 mm memiliki nilai *peak* yang lebih mendekati frekuensi referensi yaitu 3 GHz dengan nilai yang lebih rendah. *Beamwidth* pada jarak 25 mm juga lebih sempit dibandingkan jarak 12,5 mm. Bandwidth antenna pada jarak 25 mm juga lebih lebar dibandingkan jarak 12,5 mm. Meskipun nilai *sidelobe* lebih tinggi dibandingkan pada jarak 12,5, akan tetapi masih dalam batas toleransi yaitu selisih antara mainlobe dengan *sidelobe* <13,2 dB. Sehingga penulis memilih jarak 25 mm sebagai jarak antar element antenna

3.8.2 Modifikasi Dimensi Antena

Modifikasi dimensi antena dilakukan dengan cara melakukan *parameter sweep* terhadap dimensi panjang pcb (a) dan lebar pcb (b) seperti yang terdapat pada gambar 3.32 dan tabel 3.12. Proses *sweep* sendiri merupakan proses meubah-ubah ukuran suatu parameter dengan ketelitian tertentu untuk memperoleh ukuran tertentu dengan hasil optimal. Proses *Sweep* dilakukan untuk menggeser frekuensi kerja antena sehingga sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. *Sweep* dilakukan pada panjang antena (a) dimulai dari 55 hingga 67 mm dengan ketelitian 1 mm dan lebar antena (b) dimulai dari 46 hingga 55 mm dengan ketelitian 1 mm. Parameter yang diamati dari hasil simulasi modifikasi jarak reflektor adalah *bandwidth* dan *peak* $S_{1,1}$. Paranater yang diamati hanya kedua paramter tersebut dikarenakan pada tahap ini ingin dicari antena yang memiliki kinerja terbaik pada frekuensi *S-band*. Hasil dari proses *sweep* dapat dilihat pada tabel lampiran D.

Berdasarkan data pada lampiran D, didapatkan bahwa ukuran antena yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan adalah hasil yang memiliki panjang antena (a) sepanjang 64 mm dan lebar antena (b) selebar 51 mm. Pemilihan tersebut didasarkan pada nilai *peak* $S_{1,1}$ yang dekat dengan frekuensi 3 GHz yaitu pada frekuensi 3,02 GHz dan memiliki nilai terendah yaitu -67,02 dB. Dimensi ini merupakan ukuran dimensi terakhir yang digunakan dalam proses *array* selanjutnya hingga didapatkan *beamwidth* antena $\leq 5^\circ$.

3.9 Pemilihan Desain Akhir Antena *Microstrip Bowtie Single Element* dan *Array 2x1*

Berdasarkan hasil pada subbab sebelumnya, dimensi akhir yang akan digunakan pada proses *array* adalah sebagai berikut.

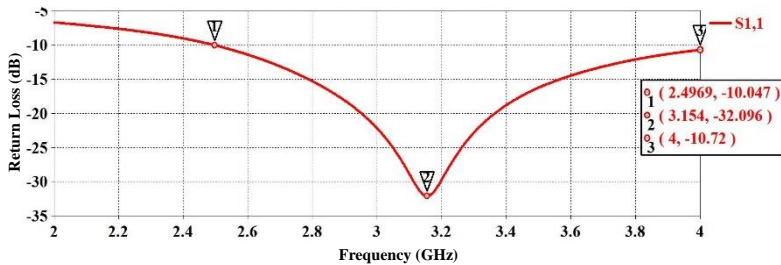
Tabel 3.14 Dimensi Antena *Microstrip Bowtie* Terpilih

Parameter	Dimensi	Parameter	Dimensi
Panjang PCB (a)	61 mm	Jarak	25 mm
Lebar PCB (b)	54 mm	Jarak pusat (j)	76 mm
Lebar Resonator (c)	8,12 mm	Panjang jalur 1 (pj ₁)	27 mm

Tinggi Resonator (d)	28,38 mm
Panjang Ground (e)	23 mm
Tinggi Ground (f)	23 mm

Panjang jalur 2 (p_{j2})	7 mm
Lebar jalur 1 (l_{j1})	2,9 mm
Lebar jalur 2 (l_{j2})	1,1 mm

Bentuk geometri dari antenna *bowtie single element* digambarkan pada gambar 3.27 dan bentuk geometri *array 2x1* digambarkan pada gambar 3.32. Sedangkan dimensi antenna mengacu pada tabel 3.14. Desain antenna single element disumulasikan terlebih dahulu menggunakan software CST untuk dianalisa peforma antenna yaitu parameter $S_{1,1}$, VSWR dan farfiled antenna. Hasil simulasi parameter $S_{1,1}$ digambarkan pada gambar 3.32. Hasil simulasi VSWR digambarkan pada gambar 3.33. Hasil simulasi farfiled digambarkan pada gambar 3.34 dan 3.35.

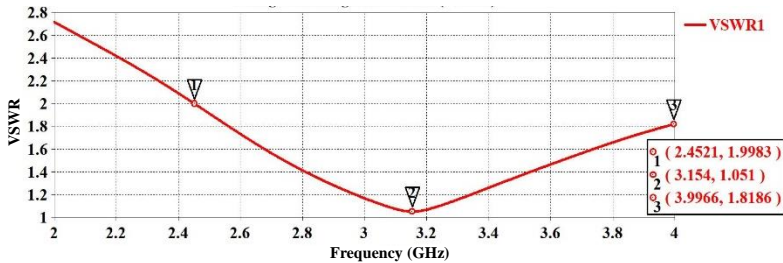


Gambar 3.32 Parameter $S_{1,1}$ Antenna *Microstrip Bowtie Single element*

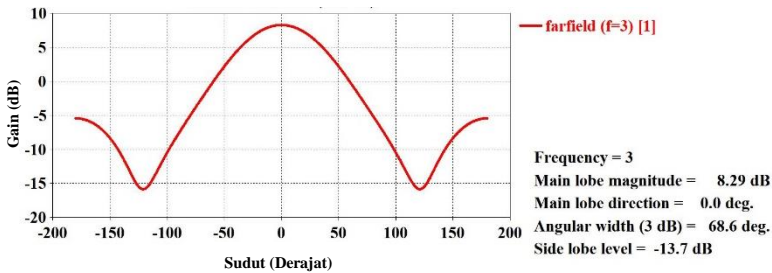
Pada gambar 3.32, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 2 hingga 4 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai paramter $S_{1,1}$ dari antenna *microstrip bowtie single element* sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2,5 – 4 GHz. Frekuensi tersebut juga merupakan bandwidth antenna. Pada rentang frekuensi *S-band* terlihat bahwa terdapat frekuensi resonansi yaitu pada frekuensi 3.15 GHz dengan nilai -32,10 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut.

Pada gambar 3.33, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik pada gambar

3.33 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.

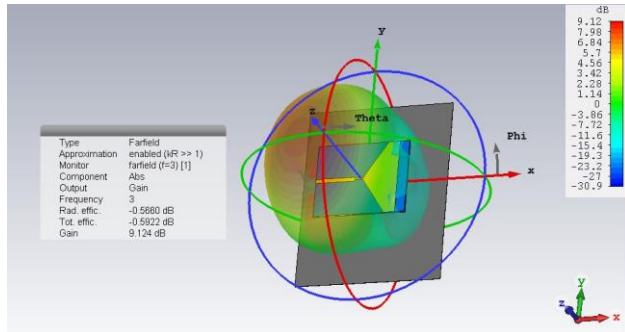


Gambar 3.33 Parameter VSWR Antena *Microstrip Bowtie Single Element*



Gambar 3.34 Parameter *Farfield 2D* Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Pada gambar 3.25, sumbu x menunjukkan rentang sudut yang disimulasikan yaitu dari 0° sampai 360° dan sumbu y menunjukkan nilai gain antenna. Simulasi ini dilakukan dengan frekuensi monitoring pada 3 GHz. Dipilihnya frekuensi 3 GHz dikarenakan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari frekuensi S-Band dan juga merupakan frekuensi tengah dari bandwidth antenna yang dibutuhkan dalam konsorsium berdasarkan pada tabel 2.1. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki nilai gain sebesar 8,29 dB dan backlobe sebesar -5,41 dB yang ditunjukkan melalui pengurangan nilai sidelobe level dengan nilai gain antenna. Beamwidth antenna sendiri bernilai $68,6^\circ$.



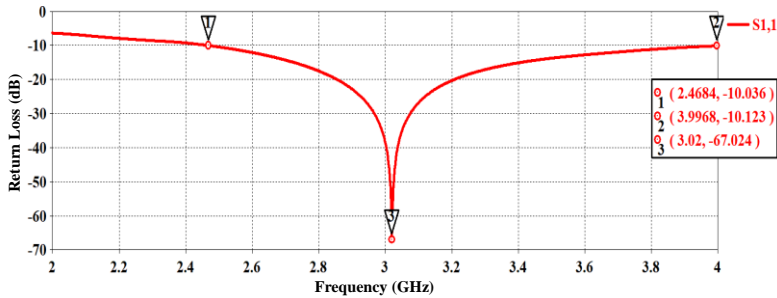
Gambar 3.35 Parameter *Farfield* 3D Antena *Single Element*

Pada gambar 3.35 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 3D. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa bentuk polarisasi antenna adalah directional kearah broadside dikarenakan bentuk pola pancarannya adalah berbentuk bola dengan nilai maksimal pada sumbu z. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan pola pancaran azimuth antenna, sedangkan lingkaran biru menunjukkan pola pancaran elevasi antenna. Untuk analisa impedansi dapat diketahui berdasarkan perhitungan menggunakan rumus 2.19, nilai impedansi antenna adalah 50,14 Ohm. Sedangkan pada simulasi, nilai impedansi antenna adalah 47,83 Ohm, perbedaan ini dapat disebabkan karena adanya pengaruh pembulatan nilai yang dilakukan saat melakukan perhitungan, sehingga ada perbedaan nilai.

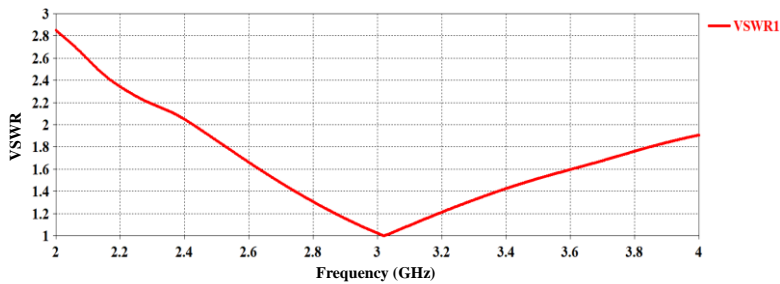
Setelah mensimulasikan antenna single element, selanjutnya desain antenna array 2×1 disimulasikan menggunakan software CST untuk dianalisa peforma antenna yaitu parameter $S_{1,1}$, VSWR dan farfield antenna. Hasil simulasi parameter $S_{1,1}$ digambarkan pada gambar 3.36. Hasil simulasi VSWR digambarkan pada gambar 3.37. Hasil simulasi farfield digambarkan pada gambar 3.38 dan 3.39.

Pada gambar 3.36, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 2 hingga 4 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai paramter $S_{1,1}$ dari antenna *microstrip bowtie linear array 2×1* sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2,47 – 4 GHz. Frekuensi tersebut juga merupakan bandwidth antenna. Pada rentang frekuensi *S-band* terlihat bahwa terdapat frekuensi resonansi yaitu pada

frekuensi 3,02 GHz dengan nilai -67,02 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut.



Gambar 3.36 Parameter $S_{1,1}$ Antena *Microstrip Bowtie Linear Array 2x1*

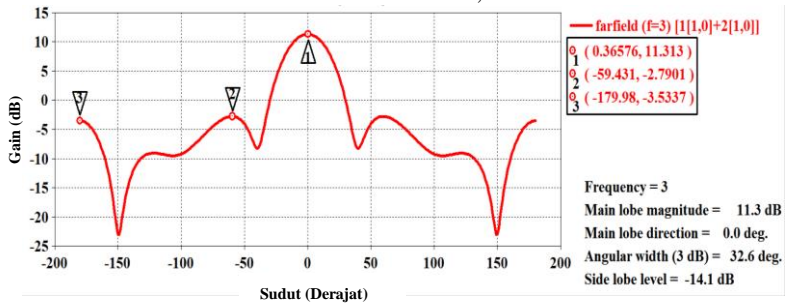


Gambar 3.37 Parameter VSWR Antena *Microstrip Bowtie Linear Array 2x1*

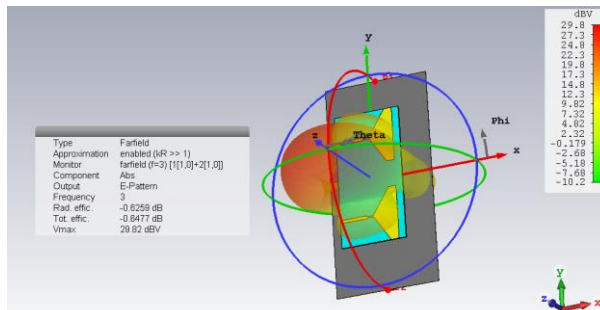
Pada gambar 3.37, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan peforma antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 3.37 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.

Pada gambar 3.38, sumbu x menunjukkan rentang sudut yang disimulasikan yaitu dari 0° sampai 360° dan sumbu y menunjukkan nilai gain antenna. Simulasi ini dilakukan dengan frekuensi monitoring pada 3 GHz. Dipilihnya frekuensi 3 GHz dikarenakan frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari frekuensi S-Band dan juga merupakan frekuensi tengah dari bandwidth antenna yang dibutuhkan dalam konsorsium berdasarkan pada tabel 2.1. Berdasarkan gambar tersebut

terlihat bahwa antenna memiliki nilai gain sebesar 11,3 dB, sidelobe sebesar -2,79 dB dan backlobe sebesar -3,53 yang ditunjukkan titik 1,2 dan 3. Beamwidth antenna sendiri bernilai 32,6°.



Gambar 3.38 Parameter *Farfield* 2D Antena *Microstrip Bowtie Linear Array* 2x1



Gambar 3.39 *Farfield* 3D Antena *Microstrip Bowtie Linear Array* 2x1

Pada gambar 3.39 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 3D. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa bentuk polarisasi antenna adalah directional kearah broadside dikarenakan bentuk pola pancarannya adalah berbentuk bola dengan nilai maksimal pada sumbu z. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan pola pancaran azimuth antenna, sedangkan lingkaran biru menunjukkan pola pancaran elevasi antenna. Untuk analisa impedansi dapat diketahui berdasarkan perhitungan menggunakan rumus 2.19, nilai impedansi antenna adalah 50,14 Ohm. Sedangkan pada simulasi, nilai impedansi antenna adalah 47,83 Ohm, perbedaan ini dapat disebabkan karena adanya pengaruh pembulatan nilai

yang dilakukan saat melakukan perhitungan, sehingga ada perbedaan nilai.

Peforma antenna single element dan antenna array 2x1 kemudian dirangkum pada tabel 3.15 untuk dapat dianalisa pengaruh proses array terhadap peforma antenna berikut

Tabel 3.15 Peforma Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Parameter	Antena Single Element	Antena Array 2x1
<i>Bandwidth</i> (GHz)	2,49-4,00	2,47-4,00
<i>Peak S_{1,1}</i>	-32,1 dB pada 3,15 GHz	-67,02 dB pada 3,02 GHz
VSWR (@3GHz)	1,17	1,02
<i>Beamwidth</i>	68,6°	32,6°
<i>Gain</i> (dB)	8.29	11.3
Impedansi	47.83	47.83

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 3.15, dalam melakukan proses *array* linear 2x1 diperoleh kenaikan nilai *gain* antenna sebesar 3dB dan pengecilan lebar *beamwidth* sebesar 36° atau lebih kecil lebih dari dua kali dibandingkan *beamwidth single element*. Bandwidth amtena pada frekuensi s-band mengalami pelebaran sebesar 20 MHz, sedangkan frekuensi resonansinya mengalami pergeseran 130 MHz.

Spesifikasi antenna array 2x1 tersebut belum dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu sesuai dengan rumusan masalah kedua yaitu memiliki *beamwidth* $\leq 5^0$ sehingga diperlukan proses *array* dengan jumlah element lebih banyak agar dapat menghasilkan spesifikasi yang diinginkan. Pada tahap selanjutnya akan dilakukan simulasi pada antenna microstrip bowtie 4 element, 8 element 16 element, dan 32 element.

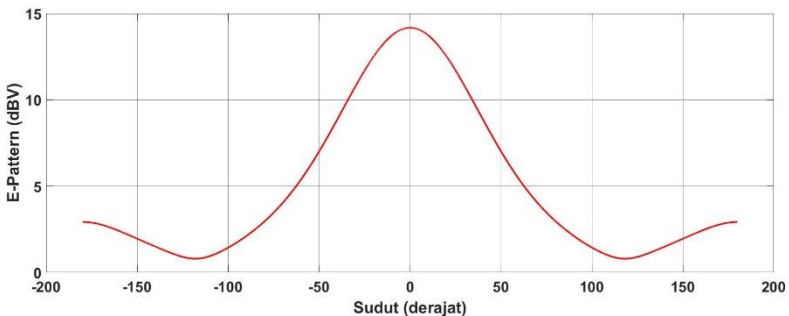
3.10 Program Simulasi MATLAB

Pada tahap ini, penggunaan simulasi MATLAB bertujuan untuk membandingkan hasil simulasi, hasil pengukuran dan hasil perhitungan manual. Hal ini bertujuan agar proses *array* antenna bisa dilakukan lebih cepat dan lebih mudah guna untuk mencari spesifikasi antenna yang diinginkan. Adapun parameter yang diperhatikan adalah *beamwidth*, *First Side Lobe Level* (FSLL) dan *gain* antenna. Hasil simulasi dengan MATLAB didapatkan dengan cari melakukan perkalian antara pola element dari antenna *single element* terpilih dengan *Array factor* (AF) antenna linear N-Array. Adapun rumus antenna linear N-Array sudah

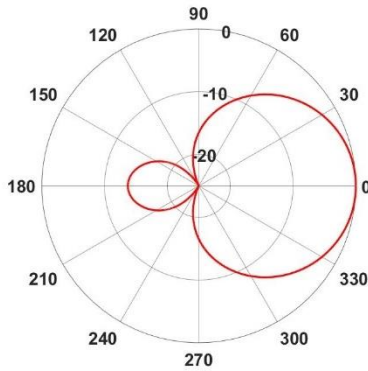
dijelaskan pada BAB II. Adapun tahapan simulasi menggunakan MATLAB dijelaskan pada sub-subbab berikutnya.

3.10.1 Perkalian Pola Element dengan *Array* Faktor

Pada tahap ini dilakukan proses perancangan script MATLAB untuk dapat mengalikan pola element dari antenna *single element microstrip bowtie* yang didapatkan dari hasil simulasi CST dengan pola element *Array factor* yang didapatkan dari rumus *Array factor* linear N-*Array*. Untuk menghasilkan pola element pada simulasi MATLAB, diperlukan untuk mengekspor data hasil simulasi dari CST kedalam bentuk format ASCII yang nantinya dapat dibuka dalam bentuk notepad. Data yang diambil dari CST adalah data pola element baik single element mau array dalam bentuk E-Pattern dengan satuan dBV. Hal ini dikarenakan rumus yang digunakan sesuai rumus 2.1 hanya dapat menghitung perkalian array factor pada satu dimensi saja dimana pola radiasi antenna mengarah ke medan E. Data pada notepad kemudian di import pada MATLAB yang nantinya akan dikalikan dengan *Array factor*. Rumus Script MATLAB yang digunakan untuk melakukan pembangkitan pola element dan pola array, perhitungan array factor dan perkalian array factor dengan pola element dilampirkan pada lampiran C. Data single element yang di ekspor adalah dalam skala linear. Adapun hasil pola element antenna *single element microstrip bowtie* digambarkan pada gambar 3.36 dalam bentuk pola rectangular dan gambar 3.37 dalam bentuk polar.

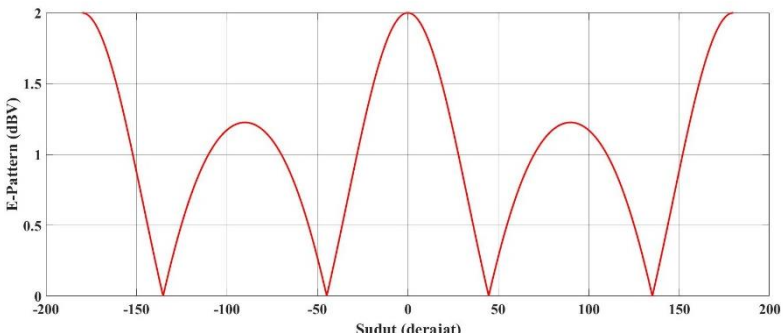


Gambar 3.40 Pola Rectangular Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

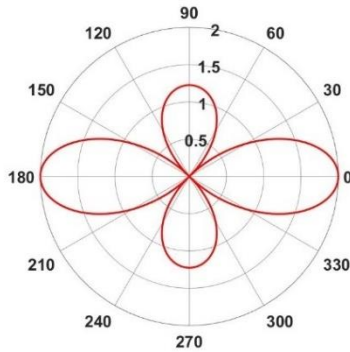


Gambar 3.41 Pola Polar Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Setelah didapatkan pola element, dilakukan pembangkitan pola *array factor* yang sesuai dengan teori yang ada pada bab 2. Rumus yang dijadikan acuan dalam membentuk pola *array factor* mengikuti rumus 2.1. Adapun hasil pembangkitan pola *array factor* digambarkan pada gambar 3.42 dalam bentuk rectangular dan gambar 3.43 dalam bentuk polar.

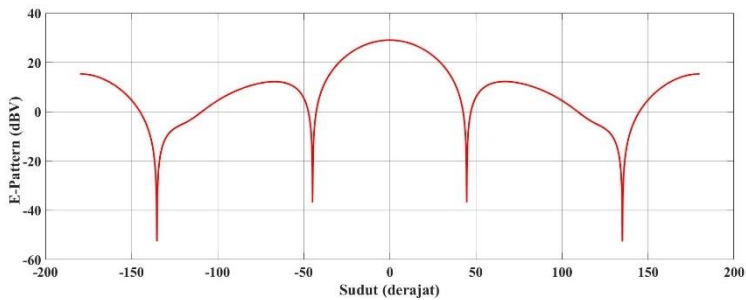


Gambar 3.42 Pola *Rectangular Array Factor* Antena *Microstrip Bowtie 2 Element*

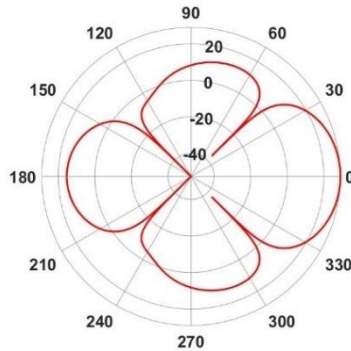


Gambar 3.43 Pola Polar Array Factor Antena Microstrip Bowtie 2 Element

Setelah pola element dan pola array factor didapatkan, dilakukan pengalihan menggunakan rumus MATLAB seperti yang terdapat pada lampiran C. Hasil perkalian kemudian diubah dalam skala dB untuk memudahkan pembacaan. Adapun hasil dari pengalihan tersebut digambarkan pada gambar 3.39 dan gambar 3.40.



Gambar 3.44 Pola Rectangular Hasil Perkalian Pola Element dengan Array Factor



Gambar 3.45 Pola Polar Hasil Perkalian Pola Element dengan *Array Factor*

3.10.2 Perkiraan Jumlah *Array* dengan Matlab

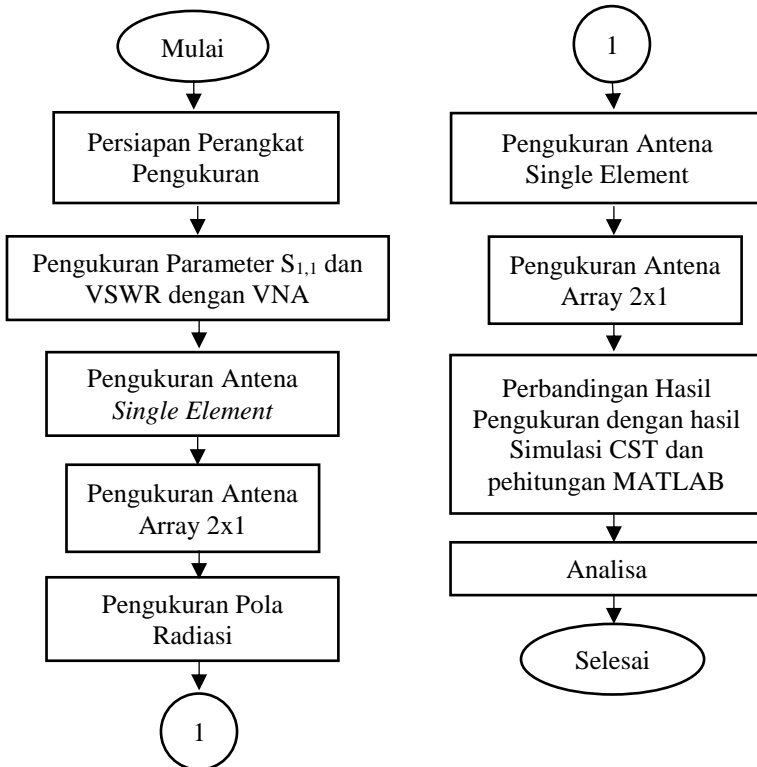
Script MATLAB yang telah berhasil disimulasikan akan dapat membantu dalam menentukan jumlah element *array* yang diperlukan untuk mendapatkan performa antenna dengan spesifikasi tertentu pada perancangan antenna microstrip linear N-array. Hal ini bisa didapatkan dengan meubah-ubah nilai dari parameter yang berkaitan yaitu jarak antar element (d) dan jumlah element *array* (N). Perubahan nilai d hanya dapat dilakukan ketika jarak antar element sudah pasti dan menyesuaikan dengan hasil simulasi dikarenakan parameter d erat kaitannya dengan perubahan nilai parameter $S_{1,1}$, gain, beamwidth dan bandwidth antenna jika merujuk pada data hasil simulasi pada tabel 3.7. Sedangkan perubahan nilai N menyesuaikan dengan kebutuhan yang ada.

Penggunaan metode ini akan mempermudah mencari jumlah element *array* yang diinginkan untuk mendapatkan spesifikasi antenna yang diinginkan tanpa harus mensimulasikan terlebih dahulu antenna *array* sehingga waktu yang dibutuhkan untuk perancangan antenna dapat lebih cepat. Spesifikasi yang dapat terlihat diantaranya nilai *E-Pattern*, beamwidth, FSLL (*First Side Lobe Level*), dan backlobe.

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Parameter yang akan diukur untuk antenna *microstrip bowtie* adalah nilai Parameter $S_{1,1}$, VSWR dan pola radiasi antenna. Parameter ini dapat diamati dengan melakukan simulasi pada *software* CST Studio 2016 maupun pengukuran langsung dengan menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer*. Tujuan dari pengukuran ini adalah mendapatkan data *real* berupa nilai Parameter $S_{1,1}$, VSWR untuk kemudian dibandingkan dengan data dari hasil simulasi dan perhitungan menggunakan simulasi pada MATLAB 2017a.



Gambar 4.1 Diagram Alir Proses Pengukuran Kinerja Antena

4.1 Metode Pengukuran

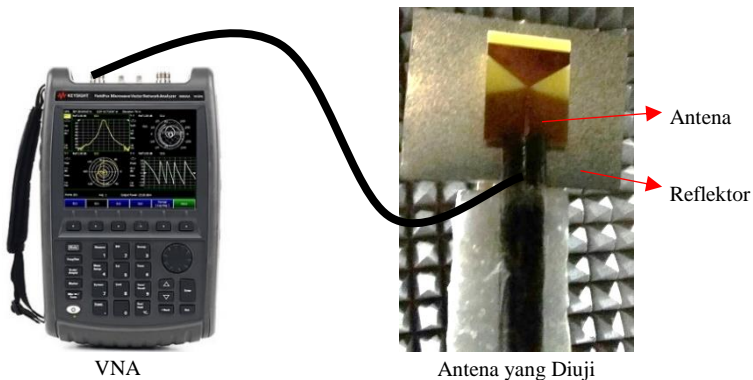
Pada tugas akhir ini akan dilakukan dua macam pengukuran antenna, yaitu pengukuran menggunakan parameter $S_{1,1}$ dan pengukuran farfield antenna. Pada pengukuran parameter antenna dilakukan pengukuran menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) untuk mengetahui nilai return loss, VSWR dan bandwidth dari antenna. Sedangkan pada pengukuran farfield antenna, digunakan signal generator, spectrum analyzer dan antenna horn referensi untuk mengukur *beamwidth* dan pola radiasi antenna. Pengukuran dilakukan terhadap dua macam antenna yang difabrikasi, yaitu antenna *microstrip single element bowtie* dan antenna *microstrip bowtie 2x1 linear array*.

Pengukuran pertama yang dilakukan adalah pengukuran parameter $S_{1,1}$ antenna. Pengukuran dilakukan pada lapangan terbuka untuk mengurangi pantulan benda logam dan interferensi sinyal lain. Adapun tata cara pengukurannya adalah sebagai berikut.

1. Sebelum pengukuran, persiapkan terlebih dahulu perangkat pengukuran seperti VNA, konektor *N-male to sma male*, konektor *N-Male to sma female* dan kabel *sma male to sma male*, solder, timah, dan konektor sma female. Selain itu, dipersiapkan juga peralatan bantu diantaranya meteran, reflektor dan kertas. Kemudian menyiapkan antenna *microstrip bowtie* dimana antenna ini akan langsung dipasang pada VNA. Sebelum melakukan pengukuran, antenna *microstrip* yang sudah difabrikasi disolder terlebih dahulu menggunakan port SMA *chassis* pada setiap jalur *feeding* antenna.
2. Pengukuran antenna *single element* dilakukan dengan cara menghubungkan konektor sma female dengan konektor *N-male to sma male connector* pada VNA. Kemudian, dilakukan pengaturan rentang frekuensi pada VNA yaitu pada frekuensi 2-4 GHz. Kemudian dilakukan pengaturan peletakan reflektor antenna dengan agar sesuai dengan simulasi yaitu berjarak $\lambda/4$. Kemudian data yang diperoleh di simpan menggunakan media *flashdisk* dengan format CSV agar dapat diolah dan dibanding hasilnya dengan hasil simulasi
3. Pengukuran antenna *2x1 linear array* dilakukan dengan cara menghubungkan konektor sma female pada antenna 1 dengan konektor *N-male to sma male connector* pada VNA. Sedangkan

untuk antenna kedua dihubungkan dengan *dummy load*. Kemudian, dilakukan pengaturan rentang frekuensi pada VNA yaitu pada frekuensi 2-4 GHz. Kemudian dilakukan pengaturan peletakan reflektor antenna dengan agar sesuai dengan simulasi yaitu berjarak $\lambda/4$. Kemudian data yang diperoleh di simpan menggunakan media *flashdisk* dengan format CSV agar dapat diolah dan dibanding hasilnya dengan hasil simulasi.

Adapun skenario pengukuran parameter $S_{1,1}$, VSWR dan bandwidth antenna digambarkan sebagai berikut.

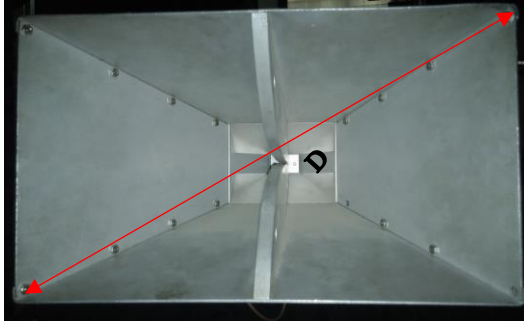


Gambar 4.2 Skenario Pengukuran Parameter $S_{1,1}$, VSWR dan *Bandwidth*

Setelah pengukuran Parameter $S_{1,1}$, VSWR dan *bandwidth* selesai dilakukan, kemudian dilakukan pengukuran pola radiasi menggunakan antenna microstrip rectangular patch sebagai antenna referensi dan VNA. Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu harus menghitung daerah medan jauh (*far-field*) dari antenna microstrip rectangular patch yang dipakai. Daerah medan jauh didapat dari perhitungan dengan menggunakan rumus.

$$R_{ff} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

Adapun antenna yang digunakan sebagai antenna referensi adalah sebagai berikut.



Gambar 4.3 Antena Horn Referensi

Nilai D merupakan dimensi terbesar dari antena yang dapat dihitung menggunakan dimensi panjang dan lebar, maka dimensi D dapat dicari dengan menggunakan persamaan *pythagoras* sebagai berikut.

$$D = \sqrt{14,2^2 + 24,5} = 28,32 \text{ cm}$$

Nilai λ tergantung terhadap frekuensi kerja, dimana frekuensi yang dipakai untuk pengukuran pada rentang 2 GHz sampai 4 GHz. Maka dapat dihitung λ_{min} dan λ_{max} sebagai berikut.

$$\lambda_{min} = \frac{c}{f_{max}} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^9} = 7,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_{max} = \frac{c}{f_{min}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10^9} = 15 \text{ cm}$$

Maka jarak medan jauh dapat terdapat pada rentang

$$R_{ff_{max}} = \frac{2xD^2}{\lambda_{min}} = 213,3 \text{ cm}$$

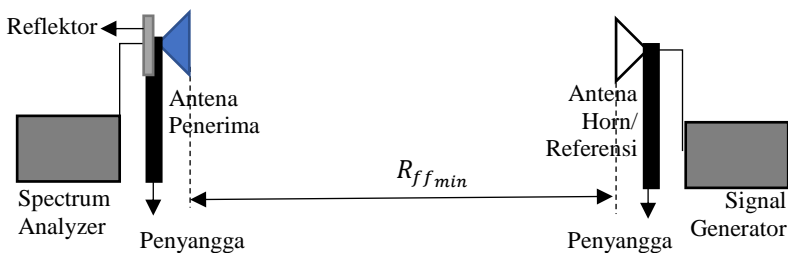
$$R_{ff_{min}} = \frac{2xD^2}{\lambda_{max}} = 106,65 \text{ cm}$$

Antena horn yang digunakan bekerja pada rentang frekuensi 10 MHz hingga 4 GHz sehingga antena dapat dijadikan referensi untuk

pengukuran karena sesuai dengan frekuensi yang digunakan pada simulasi CST. Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui jarak minimum farfield adalah 106,65 cm. Langkah yang harus dilakukan selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan seperti antenna referensi, *spectrum analyzer*, *signal generator* dan antenna yang akan diukur.
2. Pada antenna single element, menghubungkan *signal generator* dengan antenna referensi sebagai antenna pengirim menggunakan kabel konektor kemudin diset pada frekuensi 3 GHz. Sedangkan, *spectrum analyzer* dihubungkan dengan antenna *microstrip* yang akan diukur menggunakan kabel konektor pada sisi penerima. Untuk antenna array dibutuhkan *power divider* agar pengukuran dapat dilakukan
3. Melakukan pengecekan koneksi kabel dan memastikan bahwa semua alat berfungsi sebagaimana mestinya. Kemudian melakukan penyesuaian ketinggian antenna pengirim dan penerima.
4. Memutar posisi antenna *microstrip* dengan perubahan masing–masing sebesar 10° dari 0° sampai dengan 360° , kemudian mencatat nilai level daya yang didapat pada *spectrum analyzer* di masing–masing sudut untuk mendapatkan hasil pola radiasi pada bidang H.

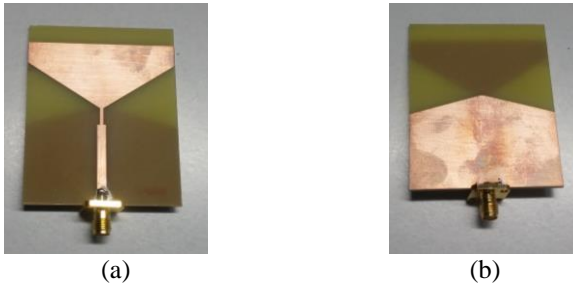
Adapun sekenario pengukuran pola radiasi antenna digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.4 Sekenario Pengukuran Pola Radiasi Antena

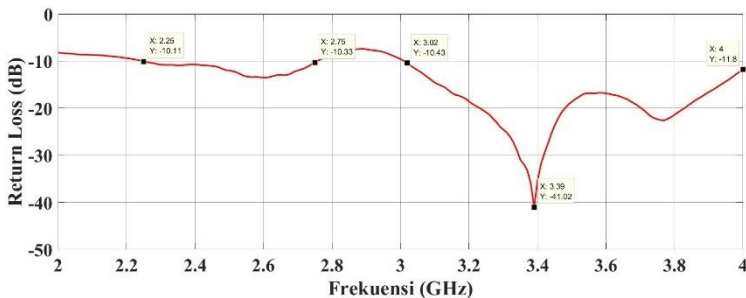
4.2 Pengujian *Single element*

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap antenna *bowtie single element* hasil fabrikasi. Bentuk geometri dan dimensi antenna yang difabrikasi adalah antenna yang sesuai dengan pada gambar 3.27 dan tabel 3.14. Adapun antenna *microstrip bowtie single element* hasil fabrikasi adalah sebagai berikut.



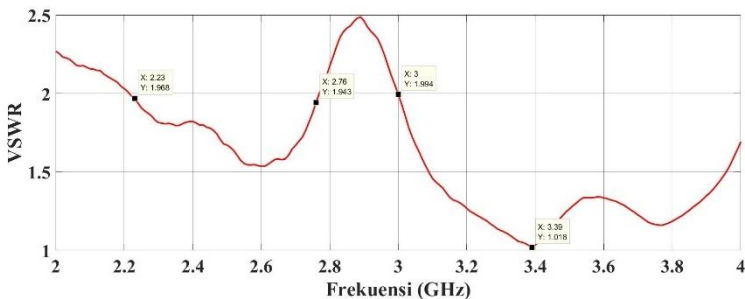
Gambar 4.5 Antena *Microstrip Bowtie Single Element* Hasil Fabrikasi, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang

Dalam pengukuran menggunakan VNA, parameter yang diukur adalah Parameter $S_{1,1}$, VSWR dan bandwidth. Pengukuran tersebut sudah meliputi *bandwidth* antena dan *peak* $S_{1,1}$ antena. Adapun hasil pengukuran antena *microstrip bowtie single element* digambarkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6. Sedangkan untuk hasil pengukuran pola radiasi digambarkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.6 Pengukuran parameter $S_{1,1}$ Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

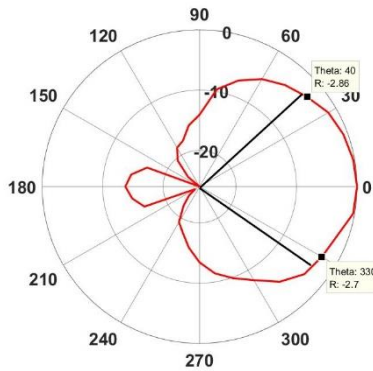
Pada gambar 4.6, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 2 hingga 4 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai parameter $S_{1,1}$ dari antenna *microstrip bowtie single element* sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2,29 – 2,75 GHz dan 3,02-4 GHz. Kedua Frekuensi juga merupakan bandwidth antenna yang diuji. Pada rentang frekuensi *S-band* terlihat bahwa terdapat frekuensi resonansi yaitu pada frekuensi 3,30 GHz dengan nilai $-41,02$ dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut.



Gambar 4.7 Pengukuran VSWR Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Pada gambar 4.7, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 4.7 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.

Pada gambar 4.8 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 2D dalam bidang polar. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki beamwidth sebesar 81° .



Gambar 4.8 Pengukuran Pola Radiasi Bidang H Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

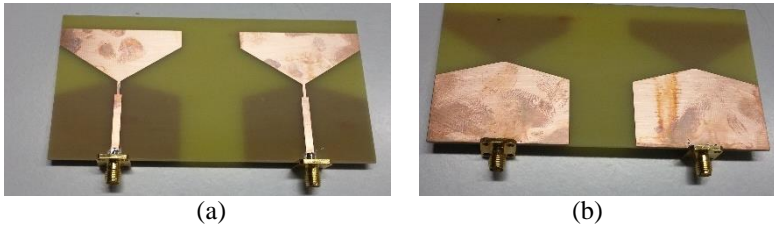
Berdasarkan gambar 4.6, gambar 4.7 dan gambar 4.8, nilai parameter antenna yang diukur kemudian dirangkum pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Peforma Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Parameter	Nilai
<i>Bandwidth</i> (GHz)	2,25-2,75 dan 3.02-4,00
<i>Peak S_{1,1}</i>	-41,02 dB dB pada 3,39 GHz
VSWR (@3GHz)	1,99
<i>Beamwidth</i>	81°

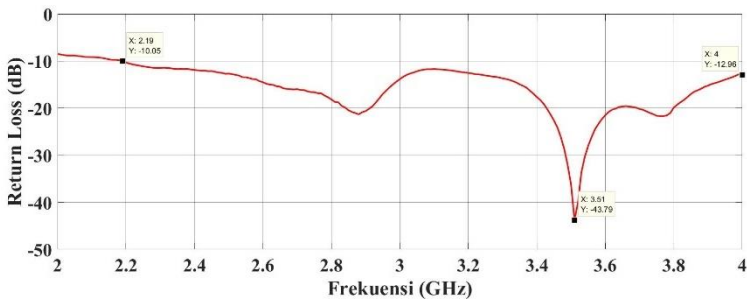
4.3 Pengujian Antena *Array 2x1*

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap antenna *microstrip bowtie 2x1 linear array* hasil fabrikasi. Bentuk geometri dan dimensi antenna yang difabrikasi adalah antenna yang sesuai dengan pada gambar 3.32 dan tabel 3.14. Adapun hasil fabrikasi antenna *microstrip bowtie 2x1 linear array* adalah sebagai berikut.



Gambar 4.9 Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array* Hasil Fabrikasi, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang

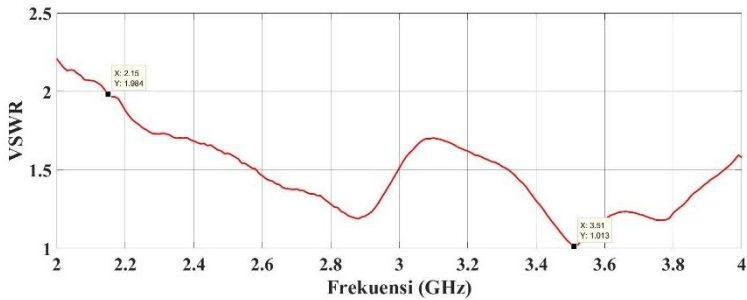
Dalam pengukuran menggunakan VNA, parameter yang diukur adalah Parameter $S_{1,1}$, VSWR dan bandwidth. Pengukuran tersebut sudah meliputi *bandwidth* antena dan *peak* $S_{1,1}$ antena. Adapun hasil pengukuran antena *microstrip bowtie 2x1 linear array* digambarkan pada gambar 4.10 dan gambar 4.11. Sedangkan untuk hasil pengukuran pola radiasi digambarkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.10 Pengukuran Parameter $S_{1,1}$ Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

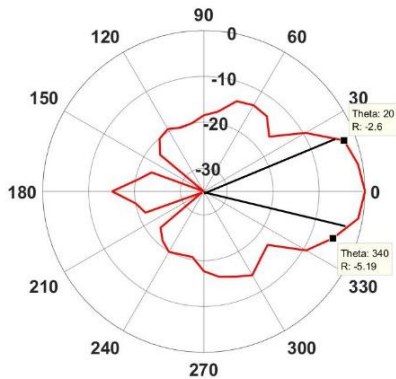
Pada gambar 4.10, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan yaitu dari 2 hingga 4 GHz dan sumbu y menunjukkan nilai return loss antena yang menggambarkan performa antena. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai parameter $S_{1,1}$ dari antena *microstrip bowtie single element* sudah berada pada frekuensi *S-band* dan bernilai ≤ -10 dB yaitu pada frekuensi 2,19 – 4 GHz. Frekuensi tersebut juga merupakan bandwidth antena yang diuji. Pada rentang frekuensi *S-band* terlihat bahwa terdapat frekuensi resonansi yaitu pada

frekuensi 3,51 GHz dengan nilai -43,79 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna bekerja maksimal pada frekuensi tersebut.



Gambar 4.11 Pengukuran VSWR Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

Pada gambar 4.11, sumbu x menunjukkan rentang frekuensi simulasi yang dilakukan dan sumbu y menunjukkan nilai VSWR antenna yang menggambarkan performa antenna. Berdasarkan grafik pada gambar 4.11 dapat diketahui bahwa nilai VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu bernilai ≤ 2 pada rentang bandwidth antenna.



Gambar 4.12 Pengukuran Pola Radiasi Bidang H Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

Pada gambar 4.12 menunjukkan bentuk pola radiasi antenna secara 2D dalam bidang polar. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa antenna memiliki beamwidth sebesar $38,4^\circ$.

Berdasarkan gambar 4.10, gambar 4.11 dan gambar 4.12, nilai parameter antenna yang diukur kemudian dirangkum pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Peforma Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

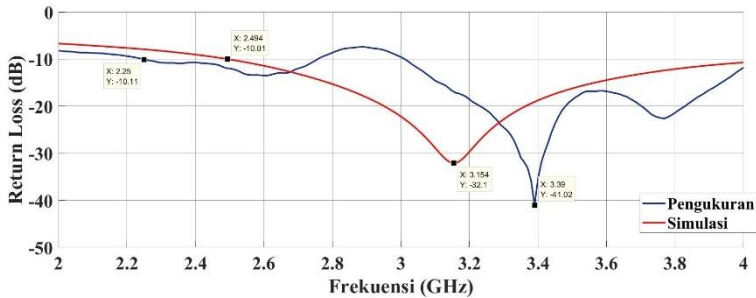
Parameter	Nilai
<i>Bandwidth</i> (GHz)	2,19-4,00
<i>Peak S_{1,1}</i>	-43,79 dB pada 3,51 GHz
VSWR (@3GHz)	1,51
<i>Beamwidth</i>	$38,4^\circ$

4.4 Analisis Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi CST 2016 dan Hasil Perhitungan MATLAB 2017a

Pada tahap ini dilakukan analisa hasil pengukuran dengan hasil simulasi pada CST Studio 2016 dan hasil perhitungan MATLAB 2017a. Komparasi hasil ini akan dilakukan menggunakan software MATLAB 2017a agar memudahkan perbandingan. Data yang diperoleh pada hasil pengukuran dan simulasi CST Studio 2016 terlebih dahulu harus dikonversi menjadi bentuk ASCII atau CSV yang nantinya akan di masukkan dalam notepad untuk dibentuk ulang menggunakan MATLAB 2017a. Untuk melakukan perbandingan parameter $S_{1,1}$, VSWR dan *bandwidth* antenna, data yang dibandingkan adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan hasil simulasi menggunakan CST Studio 2016. Sedangkan untuk *beamwidth* digunakan data hasil pengukuran, simulasi dengan CST Studio 2016 dan perhitungan MATLAB 2017a.

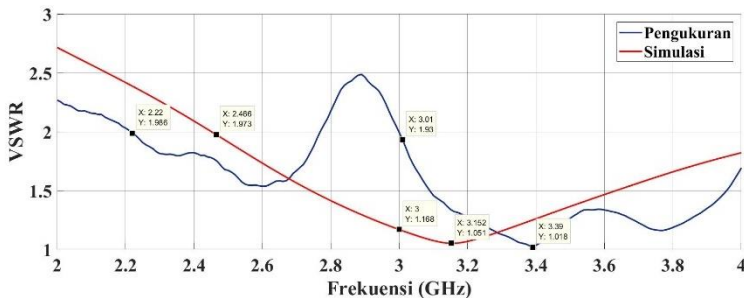
4.4.1 Analisa Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Pada tahap ini dilakukan perbandingan antenna *bowtie single element* hasil fabrikasi, simulasi CST dan simulasi MATLAB. Hasil perbandingan data pengukuran parameter $S_{1,1}$, VSWR dan pola radiasi. Data yang digunakan untuk analisa adalah berdasarkan tabel 3.14 dan tabel 4.1. Hasil pengukuran dengan simulasi CST 2016 dan MATLAB 2017a adalah sebagai berikut.



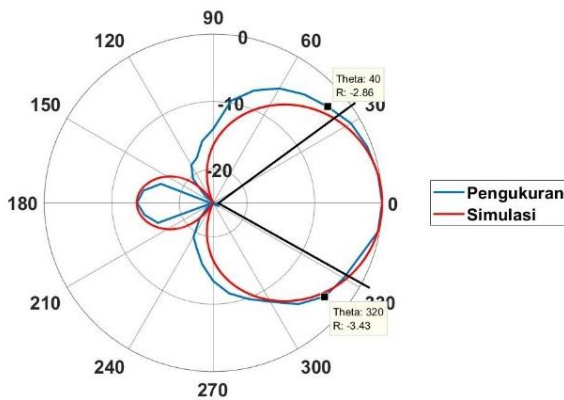
Gambar 4.13 Perbandingan Parameter $S_{1,1}$ Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.13, nilai parameter $S_{1,1}$ terjadi pergeseran frekuensi puncak antara hasil fabrikasi dengan hasil simulasi sekitar 240 MHz dan pengecilan nilai puncak sebesar 8.92 dB yang berarti performa yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai epsilon substrat (ϵ_r) pada antenna fabrikasi dengan epsilon antenna saat melakukan simulasi. Selain itu juga pergeseran frekuensi disebabkan oleh kesalahan dalam proses pensolderan port sma pada antenna dan ketidaksesuaian desain pada simulasi dengan CST Studio 2016 dengan hasil fabrikasi serta keterbatasan tempat pengujian juga mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran.



Gambar 4.14 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.14, nilai parameter VSWR terjadi pergeseran. Hal ini disebabkan karena nilai pada parameter $S_{1,1}$ berubah sehingga mempengaruhi nilai VSWR. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai epsilon substrat (ϵ_r) pada antenna fabrikasi dengan epsilon antenna saat melakukan simulasi. Selain itu juga pergeseran frekuensi disebabkan oleh kesalahan dalam proses pensolderan port sma pada antenna dan ketidaksesuaian desain pada simulasi dengan CST Studio 2016 dengan hasil fabrikasi serta keterbatasan tempat pengujian juga mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran.



Gambar 4.15 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.15, bentuk pola radiasi mengalami pergeseran dan nilai parameter beamwidth terjadi pelebaran sekitar 11° . Hal ini dikarenakan tingkat ketelitian pengukuran pola radiasi sebesar 10° karena keterbatasan waktu pengukuran.

Adapun hasil perbandingan perbandingan data pengukuran parameter $S_{1,1}$, VSWR dan pola radiasi hasil pengukuran dengan simulasi CST 2016 dan MATLAB 2017a dirangkum pada tabel 4.3.

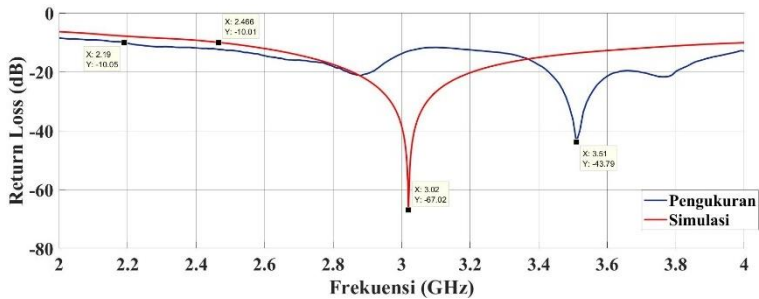
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Fabrikasi, Simulasi CST dan MATLAB Antena *Microstrip Bowtie Single Element*

Parameter	Target	Antena Fabrikasi	Simulasi CST Studio	Simulasi MATLAB
<i>Bandwidth</i> (GHz)	2,9-3,1	2,25-2,75 dan 3,02-4,00	2,49-4,00	-
<i>Peak S_{1,1}</i>	≤-10 dB pada 3,00 GHz	-41,02 dB pada 3,39 GHz	-32,1 dB pada 3,15 GHz	-
VSWR (@3GHz)	≤2	1,99	1,17	-
<i>Beamwidth</i>	≤180°	81°	68,6°	68,6°
Impedansi (Ohm)	50	49,04	50,4	50,14

Berdasarkan tabel 4.3, terdapatkan perbedaan nilai impedansi antenna fabrikasi, saat simulasi menggunakan CST dan simulasi menggunakan MATLAB. Impedansi yang dijadikan acuan adalah simulasi MATLAB. Perbedangan antara antenna fabrikasi dan simulasi terjadi dikarenakan adanya pengaruh timah solder yang digunakan dan kualitas pensolderan yang mempengaruhi bentuk jalur feeding. Sedangkan perbedaan antara hasil simulasi CST dengan simulasi MATLAB dikarenakan pada simulasi MATLAB digunakan nilai pembulatan yang mengurangi ketelitian perhitungan.

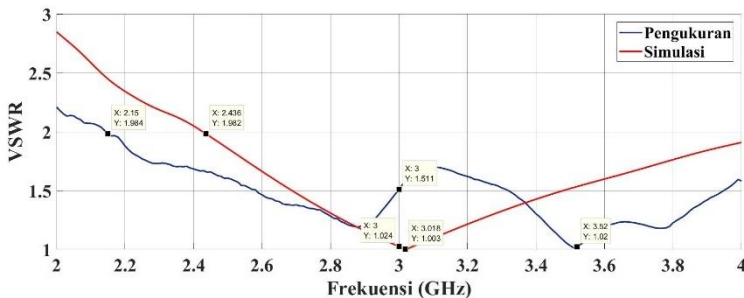
4.4.2 Analisa Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

Setelah perbandingan *single element*, selanjutnya dilakukan perbandingan hasil pengukuran antenna *bowtie linear array* 2x1 terhadap hasil simulasi CST Studio 2016 dan MATLAB 2017a. Data yang digunakan untuk analisa adalah berdasarkan tabel 3.14 dan tabel 4.1. Hasil perbandingan yang dilakukan data pengukuran parameter $S_{1,1}$, VSWR dan pola radiasi. Hasil perbandingan tersebut adalah sebagai berikut.



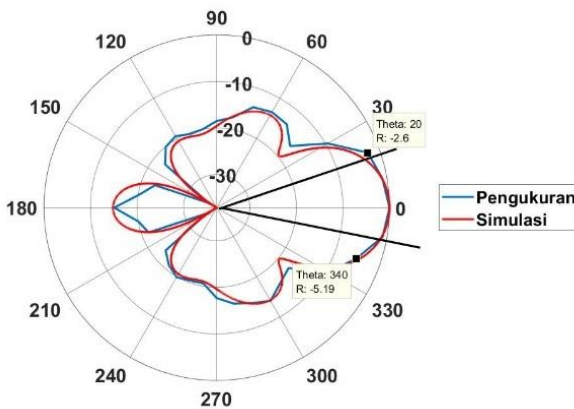
Gambar 4.16 Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.16, nilai parameter $S_{1,1}$ terjadi pergeseran frekuensi puncak antara hasil fabrikasi dengan hasil simulasi sekitar 500 MHz dan perbesaran nilai puncak sebesar 23,23 dB yang berarti performa yang lebih buruk. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai epsilon substrat (ϵ_r) pada antenna fabrikasi dengan epsilon antenna saat melakukan simulasi. Selain itu juga pergeseran frekuensi disebabkan oleh kesalahan dalam proses pensolderan port sma pada antenna dan ketidaksesuaian desain pada simulasi dengan CST Studio 2016 dengan hasil fabrikasi serta keterbatasan tempat pengujian juga mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran.



Gambar 4.17 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.17, nilai parameter VSWR terjadi pergeseran. Hal ini disebabkan karena nilai pada parameter $S_{1,1}$ berubah sehingga mempengaruhi nilai VSWR. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai epsilon substrat (ϵ_r) pada antenna fabrikasi dengan epsilon antenna saat melakukan simulasi. Selain itu juga pergeseran frekuensi disebabkan oleh kesalahan dalam proses pensolderan port sma pada antenna dan ketidaksesuaian desain pada simulasi dengan CST Studio 2016 dengan hasil fabrikasi serta keterbatasan tempat pengujian juga mempengaruhi keakuratan hasil pengukuran.



Gambar 4.18 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.18, bentuk pola radiasi mengalami pergeseran dan nilai parameter beamwidth terjadi pelebaran sekitar 6° . Hal ini dikarenakan tingkat ketelitian pengukuran pola radiasi sebesar 10° karena keterbatasan waktu pengukuran.

Adapun hasil perbandingan perbandingan data pengukuran parameter $S_{1,1}$, VSWR dan pola radiasi hasil pengukuran dengan simulasi CST 2016 dan MATLAB 2017a dirangkum pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Fabrikasi, Simulasi CST dan MATLAB Antena *Microstrip Bowtie 2x1 Linear Array*

Parameter	Target	Antena Fabrikasi	Simulasi CST	Simulasi MATLAB
<i>Bandwidth</i> (GHz)	2,9-3,1	2,19-4,00	2,47-4,00	-
<i>Peak S_{1,1}</i>	≤ -10 dB pada 3,00 GHz	-43,79 dB pada 3,51 GHz	-67,02 dB pada 3,02 GHz	-
VSWR (@3GHz)	≤ 2	1,51	1,02	-
<i>Beamwidth</i>	$\leq 5^\circ$	38,4°	32,6°	32,6°
Impedansi (Ohm)	50	49,34	51,3	50,14

Berdasarkan tabel 4.4, terdapatkan perbedaan nilai impedansi antena fabrikasi, saat simulasi menggunakan CST dan simulasi menggunakan MATLAB. Impedansi yang dijadikan acuan adalah simulasi MATLAB. Perbedangan antara antena fabrikasi dan simulasi terjadi dikarenakan adanya pengaruh timah solder yang digunakan dan kualitas pensolderan yang mempengaruhi bentuk jalur feeding. Sedangkan perbedaan antara hasil simulasi CST dengan simulasi MATLAB dikarenakan pada simulasi MATLAB digunakan nilai pembulatan yang mengurangi ketelitian perhitungan.

4.5 Analisa Simulasi Antena Hingga Sesuai Dengan Spesifikasi dan Verifikasi Menggunakan MATLAB 2017a

Pada tahap ini dilakukan simulasi lanjutan dari proses array yang telah dilakukan pada subbab 3.9. Dimensi antena yang digunakan pada tahap ini mengacu pada subbab 3.9. Pada tahap ini akan dilakukan simulasi antena microstrip bowtie 4 element, 8 element 16 element, 32 element dan 64 element. Pada simulasi ini, parameter yang diamati adalah *bandwidth*, *peak S_{1,1}*, *sidelobe*, *gain* dan lebar *beamwidth*. Adapun hasil simulasi antena array dirangkum pada tabel 4.3.

Berdasarkan data pada tabel 4.5, jumlah array minimum yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan rumusan masalah kedua adalah 16

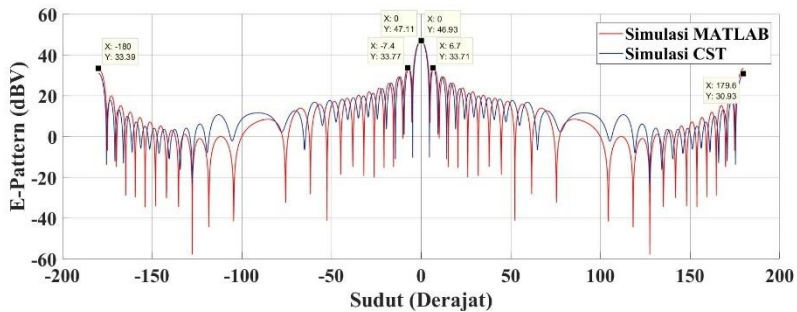
array karena pada antenna array 16 element sudah memiliki beamwidth $<5^\circ$ yaitu $4,1^\circ$ dan bekerja pada frekuensi S-band, yaitu pada frekuensi 2,45-3,99 GHz dengan peak $S_{1,1}$ bernilai -52,41 pada fekuensi 3,01 GHz. Shingga desain antenna microstrip 16x1 lienar array sudah bisa menyelesaikan permasalahan kedua. Berdasarkan data pada tabel 4.3 juga dapat diketahui bahwa Penambahan jumlah element array sejumlah 2 kali dapat meningkatkan gain antenna sebesar $\pm 3\text{dB}$, penurunan beamwidth $\pm 50\%$. Akan tetapi, dapat mempersempit bandwidth dan mengeser parameter $S_{1,1}$. Proses fabrikasi antenna pada tahap ini tidak dilakukan diakrenakan keterbatasan yang dimiliki oleh penulis dan perlatan untuk melakukan pengukuran antenna.

Tabel 4.5 Perbandingan Jumlah Array

Jumlah Element	Bandwidth (GHz)	Peak $S_{1,1}$	Beam width	Gain (dB)	Sidelobe (dB)
4	2,60-4,00	-40.75 dB pada 3.21 GHz	16.8°	14.3	0.18
8	2.45-3.99	-64.24 dB pada 3.02 GHz	8.3°	17.3	3.40
16	2.45-3.99	-52.41 dB pada 3.01 GHz	4.1°	20.3	6.95
32	2.47-3.97	-48.54 dB pada 3.03 GHz	2.1°	23.4	9.96
64	2.51-3.92	-40.32 dB pada 3.07 GHz	1°	26.4	13.13

Berdasarkan pada tabel 4.5, Jumlah element antenna yang dibutuhkan untuk mendapatkan beamwidth $\leq 2^\circ$ sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk kebutuhan konsorsium pada tabel 2.1 adalah 64 element dengan karakteristik lebar beamwidth sebesar 1° .

Desain antenna yang sudah didapatkan kemudian dibandingkan pola radiasinya antara hasil simulasi CST dengan MATLAB untuk dilakukan verifikasi terhadap script MATLAB yang telah dibuat sebelumnya sesuai dengan yang terdapat pada lampiran c. Adapun hasilll perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.19 Perbandingan Pola Radiasi Hasil Simulasi CST dengan Hasil Simulasi MATLAB Antena Microstrip Bowtie 16x1 Linear Array

Berdasarkan gambar 4.19, dapat dirangkum perbedaan nilai antara simulasi MATLAB dan simulasi CST pada tabel 4.6 berikut.

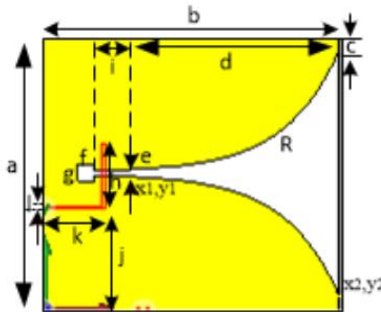
Tabel 4.6 Perbandingan Simulasi MATLAB dengan CST

Parameter	Simulasi MATLAB	Simulasi CST	Perbedaan
Max E-Pattern	47,11	46,93	0,18 (0,38%)
First Side Lobe Level	33,77	33,71	0,06 (0,17%)
Backlobe	33,39	30,93	2,35 (7,03%)

Berdasarkan data pada tabel 4.6, terdapat sedikit perbedaan antara simulasi MATLAB dengan CST. Perbedaan ini dapat terjadi karena dalam perhitungan MATLAB tidak memperhitungkan parameter lain yang akan mempengaruhi kinerja antena seperti adanya mutual coupling. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa penggunaan script MATLAB yang telah dibuat sebelumnya dapat digunakan untuk menentukan jumlah element array yang dibutuhkan untuk mendesain antena dengan spesifikasi tertentu. Adapun parameter yang dapat terlihat diantaranya nilai *E-Pattern*, *beamwidth*, *FSLL (First Side Lobe Level)*, dan *backlobe*.

4.6 Perbandingan Beamwidth Antena Microstrip Bowtie dengan Vivaldi

Pada tahap ini dilakukan perbandingan peforma antea microstrip bowtie dengan antena vivaldi khususnya beamwidth dari antena. Pembandingan dilakukan dengan cara membandingkan pola radiasi single element antena microstrip bowtie dan antena vivaldi menggunakan software MATLAB. Pola radiasi ini kemudian akan dilaklikan dengan rumus array factor sesuai pada lampiran C untuk didapatkan beamwidth antena dalam bentuk array. Bentuk geometri dan dimensi dari antena microstrip bowtie yang digunakan berdasarkan pada gambar 3.7 dan tabel 3.14. Sedangkan bentuk geometri dan dimensi dari antena vivaldi mengacu pada paper reverensi [12] dan digambarkan pada gambar 4.20 dan tabel 4.7 berikut.



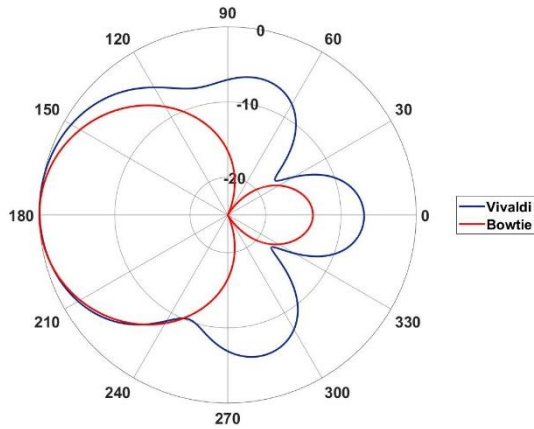
Gambar 4.20 Dimensi Antena Vivaldi [12]

Tabel 4.7 Dimensi Antena Vivaldi

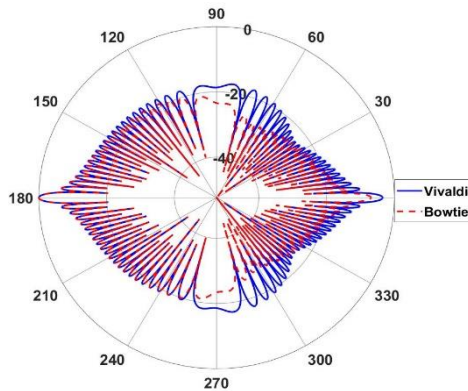
Parameter	Dimensi	Parameter	Dimensi
a	60 mm	h	28 mm
b	60 mm	i	2 mm
c	17,5 mm	j	15 mm
d	40 mm	k	25 mm
e	0,6 mm	l	2 mm
f	5 mm	R	0,13
g	5 mm		

Setelah didapatkan kedua desain tersebut, kemudian disimulasikan untuk didapatkan peforma antena. Pada tahap ini hanya akan

dibandingkan peforma beamwidth antenna untuk dilihat effesinsi jumlah element yang dibutuhkan agar dapat memnuhi spesifikasi antenna. Hasil perbandingan beamwidth antenna tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 4.21 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi *Single Element Antena Microstrip Bowtie* dan *Antena Microstrip Vivaldi*



Gambar 4.22 Perbandingan Pola Radiasi Bidang H Hasil Simulasi *Antena Microstrip Bowtie* dan *Antena Microstrip Vivaldi* dalam bentuk *Linear Array 32x1*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.21, terlihat bahwa beamwidth yang dihasilkan antenna microstrip bowtie single element lebih kecil dibandingkan dengan antenna microstrip vivaldi single element dengan nilai 68° berbanding $82,9^\circ$. Hasil ini kemudian disimulasikan menggunakan MATLAB untuk melihat beamwidth antenna dalam bentuk array. Hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut.

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.22, terlihat bahwa beamwidth yang dihasilkan antenna microstrip bowtie single hampir sama dengan antenna microstrip vivaldi dalam bentuk linear array 32×1 dengan nilai $\pm 2,1^\circ$. Sehingga dapat dilihat bahwa jumlah element yang dibutuhkan untuk mendapatkan beamwidth $\leq 2^\circ$ sesuai dengan kebutuhan konsorsium berdasarkan tabel 2.1 adalah ± 64 element antenna bila mengacu pada hasil yang diperoleh pada tabel 4.5. Hasil perbandingan tersebut dirangkum pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Perbandingan Simulasi Antena Microstrip Bowtie dan Antena Microstrip Vivaldi

Parameter	Bowtie Single	Vivaldi Single	Bowtie Array 32×1	Vivaldi Array 32×1
Beamwidth	68°	$82,9^\circ$	$\pm 2,1^\circ$	$\pm 2,1^\circ$

Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa beamwidth antenna microstrip sedikit lebih baik dibandingkan antenna microstrip vivaldi. Hal ini dikarenakan antenna microstrip bowtie sudah dilakukan proses modifikasi sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan peforma yang optimal sedangkan antenna microstrip vivaldi belum dimodifikasi.

4.7 Sintesis

Tugas akhir ini berkaitan dengan penelitian mengenai perancangan dan pembuatan antenna *array* dengan beamwidth $\leq 5^\circ$ pada frekuensi *S-band* dengan menggunakan elemen *microstrip bow-tie*. Penelitian ini diharapkan kelak bisa digunakan sebagai antenna referensi dalam pembuatan antenna radar yang bekerja pada frekuensi *S-band*.

Berbagai bentuk antenna microstrip bowtie di dapatkan dari *paper* referensi disimulasikan yang kemudian dibandingkan parameter *bandwidth*, *beamwidth*, *peak S_{1,1}*, *gain*, dan pola radiasi dari antenna tersebut. Setelah didapatkan antenna dengan peforma yang sesuai dengan

permasalahan yang ada, kemudian dimodifikasi agar sesuai dengan permasalahan pertama. Dimensi antenna yang sudah didapatkan kemudian diubah menjadi bentuk array 2×1 . Kemudian jarak antar element dan dimensi dari antenna di modifikasi agar memperoleh performa antenna yang optimum. Setelah didapatkan dimensi antenna tersebut, kemudian dilakukan proses array dengan jumlah element yang lebih banyak hingga dapat menyelesaikan permasalahan nomor dua. Cara mensimulasikan di CST Microwave Studio adalah dengan menggunakan *open (add space) boundary condition*. Sedangkan tempat datangnya gelombang dibiarkan terbuka. Pemodelan seperti ini menghasilkan hasil simulasi yang menyerupai dengan hasil pada *paper* referensi.

Berdasarkan hasil yang diperoleh di bab 3 didapatkan bahwa untuk menyelesaikan permasalahan pertama dibutuhkan antenna dengan dimensi seperti pada tabel 3.14. Selain itu juga dibutuhkan penambahan reflektor yang terbuat dari bahan seng yang berjarak $\lambda/4$ dari antenna agar beamwidth bisa lebih kecil. Bentuk geometri dari antenna ini bisa dilihat pada gambar 3.27 dan bentuk geometri antenna dengan reflektor digambarkan pada gambar 3.22. Setelah didapatkan dimensi antenna single element, dilakukan proses modifikasi array antenna agar diperoleh dimensi antenna yang memiliki kinerja optimal. Modifikasi yang dilakukan adalah jarak antar element antenna dan dimensi antenna keseluruhan. Bentuk geometri dan dimensi antenna array digambarkan pada gambar 3.32 dan tabel 3.12. Hasil simulasi antenna single element dan array 2×1 dirangkum pada tabel 3.15. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan bahwa desain yang dirancang telah dapat menyelesaikan permasalahan pertama yaitu memiliki beamwidth $\leq 180^\circ$, yaitu memiliki karakteristik beamwidth $68,6^\circ$. Akan tetapi, desain antenna array 2×1 belum dapat menyelesaikan permasalahan yang kedua dikarenakan beamwidth antenna masih bernilai $32,6^\circ$.

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan kedua, pada tugas akhir ini dilakukan simulasi antenna microstrip linear array hingga 64 element. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada tabel 4.5, dibutuhkan setidaknya 16 element antenna untuk mendapatkan beamwidth $\leq 5^\circ$. Sedangkan untuk memenuhi kebutuhan spesifikasi antenna untuk konsorsium dibutuhkan setidaknya 64 element antenna agar beamwidth antenna bernilai $\leq 2^\circ$. Untuk mempermudah mendesain antenna array tanpa perlu melakukan simulasi terlebih dahulu dapat menggunakan script MATLAB sesuai dengan yang terdapat pada lampiran C. Hasil yang diperoleh dari simulasi MATLAB menyerupai dengan hasil simulasi pada

CST seperti yang terlihat pada gambar 4.19. Sehingga, script MATLAB ini dapat mempermudah proses pereancangan antenna sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menentukan jumlah element yang dibutuhkan untuk mencapai spesifikasi tertentu dapat diselesaikan lebih cepat.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada tabel 4.3 dan tabel 4.4, dapat dilihat bahwa adanya perbedaan hasil yang didapatkan pada saat pengukuran antenna hasil fabrikasi single element dan antenna array 2x1 dengan hasil simulasi. Hal ini dikarenakan ada ketidaksesuaian nilai episolon (ϵ_r) substart dan dimensi antara hasil fabrikasi antenna dengan desain yang dirancang pada simulasi. Selain itu keterbatasan penulis dalam melakukan penyolderan port antenna juga menyebabkan ketidaksesuaian terjadi dan juga terdapat keterbatasan tempat dan peralatan pengujian antenna sehingga hasil yang didapatkan kurang akurat, akan tetapi tempat pengujian sudah diupayakan agar bisa seideal mungkin.

Hal terakhir yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah membandingkan peforma beamwidth antenna microstrip bowtie dengan antenna microstrip vivaldi. Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 4.8 dapat diketahui bahwa beamwidth antenna single element bowtie lebih sempit dibandingkan antenna microstrip vivaldi. Tetapi, setelah dilakukan array lebar beamwidth kedua antenna tersebut hampir sama yaitu $\pm 2,1^\circ$ pada simulasi antenna linear array 32x1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa beamwidth antenna microstrip sedikit lebih baik dibandingkan antenna microstrip vivaldi. Hal ini dikarenakan antenna microstrip bowtie sudah dilakukan proses modifikasi sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan peforma yang optimal sedangkan antenna microstrip vivaldi belum dimodifikasi.

BAB 5

PENUTUP

Setelah dilakukan pengambilan data pengukuran dan analisis terhadap data hasil simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa desain yang dipakai dalam tugas akhir ini bisa dipakai untuk pengembangan dan penelitian di waktu yang akan datang.

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan tahapan perancangan hingga pengukuran antenna *microstrip bowtie*, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dimensi antenna *microstrip bowtie* single element yang dibutuhkan untuk mendapatkan beamwidth $\leq 180^\circ$ adalah antenna yang memiliki bentuk geometri dan ukuran dimensi seperti yang terdapat pada gambar 3.7 dan tabel 3.14. Hasil simulasi antenna dirangkum pada tabel 3.15 yang memiliki karakteristik lebar beamwidth sebesar $68,6^\circ$.
2. Penambahan reflektor pada antenna dapat meningkatkan gain antenna sebesar 4,44 dB dan mempersempit beamwidth hingga $274,1^\circ$ dan mengubah karakteristik antenna menjadi *directional*. Akan tetapi penambahan reflektor dapat menggeser nilai parameter $S_{1,1}$ menjadi lebih jelek.
3. Penskalaan dimensi antenna *microstrip bowtie* dapat meningkatkan nilai *gain* sebesar 1.3 dB sedangkan nilai *backlobenya* mengecil sebesar 7.72 dB. *Beamwidth* antenna juga mengalami pengecilan sebesar $13,1^\circ$. Akan tetapi, dapat menggeser frekuensi kerja ke frekuensi yang lebih rendah dan mempersempit bandwidth antenna.
4. Pengukuran parameter $S_{1,1}$ antenna *microstrip bowtie* single element dan array mengalami pergeseran peak $S_{1,1}$ sebesar 240 MHz dan 500 MHz dikarenakan ketidaksesuaian epsilon pada simulasi menggunakan CST Studio 2016 dengan epsilon pada saat fabrikasi antenna dan dimensi antenna yang difabrikasi dengan desain pada simulasi CST Studio 2016
5. Jumlah element antenna yang dibutuhkan untuk mendapatkan beamwidth $\leq 5^\circ$ pada antenna *microstrip bowtie* linear array adalah 16 element dengan karakteristik lebar beamwidth sebesar $4,1^\circ$ sesuai hasil pada tabel 4.5.

6. Jumlah element antena yang dibutuhkan untuk mendapatkan beamwidth $\leq 2^\circ$ sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk kebutuhan konsorsium adalah 64 element dengan karakteristik lebar beamwidth sebesar 1° sesuai hasil pada tabel 4.5.
7. Pola radiasi yang dihasilkan MATLAB menyurapai hasil simulasi CST dengan perbedaan Nilai maksimum E-Pattern sebesar 0.4%, *first side lobe level* sebesar 0.17%, backlobe sebesar 7,03% dan pergeseran sudut sebesar 0.7° pada antena microstrip bowtie 16x1 linear array sesuai pada hasil pada tabel 4.6.
8. *Beamwidth* antena *bowtie* lebih sempit dibandingkan antena vivaldi dikarenakan telah mengalami proses modifikasi dan optimasi berdasarkan hasil pada tabel 4.8

5.2 Saran

Dalam melakukan pengembangan dengan topik pembuatan dan perancangan antena microstrip bowtie, terdapat beberapa saran berdasarkan hasil yang didapatkan pada tugas akhir ini, yaitu :

1. Teknik pencatutan antena pada simulasi dan pengukuran antena dapat dioptimasi dengan teknik pencatutan yang lebih baik agar dapat menghasilkan antena microstrip bowtie array dengan nilai sidelobe yang lebih kecil.
2. Sebelum proses perancangan dan fabrikasi, antena sebaiknya dilakukan konfirmasi dan verifikasi terhadap nilai epsilon substrat yang digunakan agar hasil simulasi dapat lebih mendekati dengan hasil pengukuran.
3. Saat melakukan pengujian antena sebaiknya dilakukan di ruang chamber agar hasil pengukuran lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keerthi V. H. R., Khan Habibullah, Srinivasulu P., “*Design of C-Band Microstrip Patch Antenna for Radar Applications Using IE3D*”. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, Volume 5, Issue 3, 2013.
- [2] Beenamol K.S., “*Microstrip Antenna Designs for Radar Applications*”, DRDO Science Spectrum, PP. 84-86, 2009.
- [3] Stutzman W. L., Thiele A.G., “*Antenna Theory and Design 3rd ed.*”, New York, 1998.
- [4] Balanis C. A. “*Antenna Theory: Analysis and Design, 4th ed*”. John Wiley & Sons, INC. 2016.
- [5] Sayidmarie K.H., Fadhel Y.A., “*A Planar Self-Complementary Bow-Tie Antenna For UWB Applications*”, *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 35, 253-267, 2013.
- [6] Pozar M. D., “*Microwave Engineering 4ed*”, John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [7] Tao Y., Kan S., Wang G., “*Ultra-Wideband Bow-tie Antenna Design*”, *Ultra-Wideband (ICUWB)*, 2010 IEEE International Conference, China, 2010.
- [8] Kimimami K., Hirata A., Shiozawa T., “*Double-Sided Printed Bow-Tie Antenna for UWB Communications*”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol 3, 2004
- [9] “*Pengembangan Radar Pertahanan Udara Phased Array 3D Tahap 1*”, *Proposal Teknis*, PT. LEN INDUSTRI, 2015.
- [10] “*IEEE Standard Letter Designation for Radar-Frequency Bands*”, *IEEE Std 521™*, 8 Januari 2003.
- [11] “*Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia*”, Nomor 25, *Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia*, 2014.
- [12] Nurhayati, Setijadi Eko, Hendrantoto Gamantyo, “*Effect of Vivaldi Element Pattern of The Uniform Linear Array Pattern*”, *IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*, Indonesia, 2016.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN A

PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

TE141599 TUGAS AKHIR - 4 SKS

13 FEB 2017

Nama Mahasiswa : Rio Prakoso Wibowo
NIP : 2213 100 166
Bidang Studi : Telekomunikasi dan Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Th.2016/2017
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
2. Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
Judul Tugas Akhir : **Perancangan dan Pembuatan Antena Array dengan Beamwidth $\leq 5^\circ$ pada Frekuensi S-Band dengan Menggunakan Elemen Microstrip Bow-tie**
Design and Fabrication Array Antenna with Beamwidth $\leq 5^\circ$ at S-Band Frequency Using Microstrip Bow-Tie Element

Uraian Tugas Akhir :

Antena merupakan komponen yang sangat penting dalam kemajuan teknologi telekomunikasi saat ini. Dalam sistem komunikasi radio, antena memiliki dua fungsi dasar. Fungsi utama adalah untuk memancarkan gelombang radio/sinyal RF dari pemancar, atau untuk mengkonversi gelombang radio menjadi sinyal RF untuk diproses oleh penerima. Salah satu pemanfaatan antena adalah pada sistem radar. Radar adalah suatu sistem gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan membuat pemetaan benda-benda seperti pesawat terbang, berbagai kendaraan bermotor dan informasi cuaca (hujan).

Salah satu bentuk antena yang umum digunakan saat ini adalah antena berbentuk parabolik dimana antena tersebut cenderung mahal harganya dan besar ukurannya. Saat ini penggunaan antena untuk radar telah banyak beralih ke *phased array*. Penggunaan antena *phased array* mengalami perkembangan dari antena berjenis patch hingga berupa microstrip bentuk lainnya seperti *bowtie* yang masih dikembangkan saat ini. Antena microstrip memiliki keunggulan antara lain ukuran lebih kecil, lebih fleksibel, dan lebih murah dalam fabrikasinya. Pada tugas akhir ini akan dirancang antena microstrip dengan berbentuk *microstrip bow-tie array* dimana antena ini memiliki karakteristik beamwidth $\leq 5^\circ$.

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 197210012003121002
Mengetahui,
Koordinator Program Studi S1

Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP. 196605101992032002
Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi

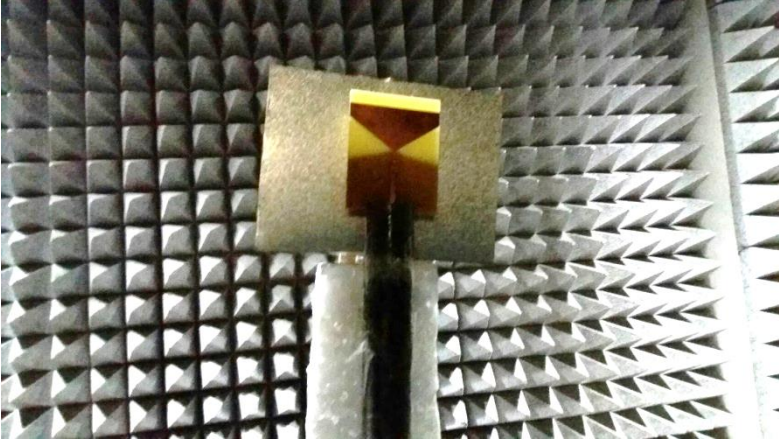
Dr. Deder C. Riwani, S.T., M.Eng. Ph.D.
NIP. 197311192000031001

Prof. Dr. Ir. Gannanjo Hendranto, Ph.D.
NIP. 19701111993031002

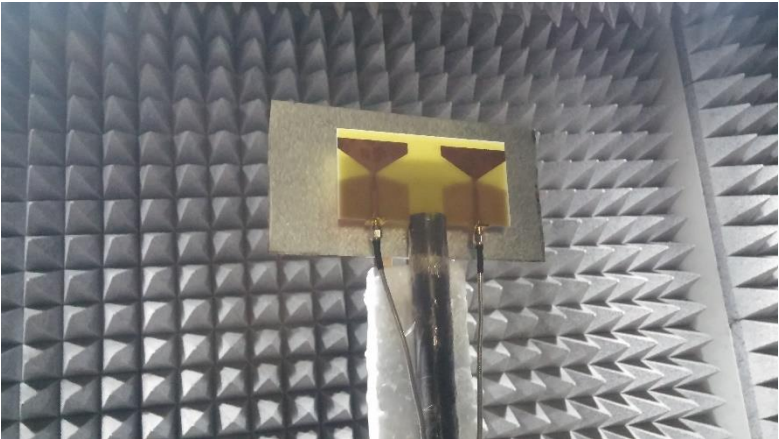
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN B

PENGUKURAN



Gambar. Pengaturan Pengukuran Antena *Microstrip Bowtie Single Element*



Gambar. Pengaturan Pengukuran Antena *Microstrip Bowtie Array 2x1*



Gambar. Pengukuran Pola Radiasi Antena *Microstrip Bowtie Array 2x1*



Gambar. Pembacaan Nilai VNA

LAMPIRAN C

SCRIPT MATLAB

```
clc
clear all
close all hidden
%Membangkitkan Hasil Simulasi Single Element (Bentuk Data .txt)
fileID = fopen('1_6746_27_Epattern_Linear.txt','r');
formatspec = '%f';
A = reshape(fscanf(fileID,formatspec),[],3600)'
fclose(fileID)
A2= [A(:,6)]

%Membangkitkan Hasil Simulasi Array (Bentuk Data .txt)
fileID2 = fopen('32_6746_27_Epattern.txt','r');
formatspec = '%f';
A4 = reshape(fscanf(fileID2,formatspec),[],3600)'
fclose(fileID2)
A5= [A4(:,6)]

%Membangkitkan Parameter Array Factor
N = 32; % Jumlah Element
c = 3*10^8; % Kecepatan Cahaya
f = 3*10^9; %Frekuensi yang Diukur
lambda = 0.1; % Panjang Gelombang (dalam meter)
k = 2*pi/lambda; %Number of Wave
b=46/1000; %Lebar Antena
d = b+(lambda/4); %Jarak Antar Element
theta_zero = 0; % 0 derajat broadside, 90 derajat untuk endfire
An = ones(1,N); %Membangkitkan nilai An
j = sqrt(-1); %Nilai j
theta=0.1:0.1:360; %Range Frekuensi dalam Derajat
rad = (pi/180).*theta; %Range Frekuensi dalam Radian
psi =(k*d).*(sin(rad)-theta_zero); %Nilai psi

%Perhitungan Array Factor
for n=1:N
    AF(n,:) = An(n).*exp((j*(n-1)).*psi);
```

```

end
AF1=sum(AF);
AF2= abs(AF1);

%Perhitungan Hasil Grafik Perkalian
hasil=A2'*AF2; %Skala Linear
hasildb=20.*log10(hasil); %Skala dB

%Membuat Range nilai grafik
rmin= min(A2');
rmax= max(A2');
rmin1=min(AF2);
rmax1=max(AF2);
rmin2=min(hasildb);
rmax2=max(hasildb);
rmin3=min(A5')
rmax3=max(A5')

%Plot Polar
figure(1)
subplot(2,2,1)
polarplot(rad,A2')
rlim([rmin rmax])
title ('polar single')
subplot(2,2,2)
polarplot(rad,AF2);
rlim([rmin1 rmax1])
title ('polar Array Factor')
subplot(2,2,3)
polarplot(rad,hasildb)
rlim([rmin2 rmax2])
title ('polar hasil')
subplot(2,2,4)
polarplot(rad,A5')
rlim([rmin3 rmax3])
title ('polar cst')

%Plot Rectangular
figure(2)

```

```

subplot(2,2,1)
plot(theta,A2')
ylabel('Nilai Gain (Directivity), dB');
xlabel('Sudut, derajat')
title ('rectangular single')
subplot(2,2,2)
plot(theta,AF2);
ylabel('Nilai Gain (Directivity), dB');
xlabel('Sudut, derajat')
title ('rectangular array factor')
subplot(2,2,3)
plot(theta,hasildb)
ylabel('Nilai Gain (Directivity), dB');
xlabel('Sudut, derajat')
title ('rectangular hasil')
subplot(2,2,4)
plot(theta,A5)
ylabel('Nilai Gain (Directivity), dB');
xlabel('Sudut, derajat')
title ('rectangular cst')

```

%Plot Perbandingan

```

figure(3)
polarplot(rad,hasildb,'r')
rlim([rmin2 rmax2])
hold on
polarplot(rad,A5,'b')
rlim([rmin3 rmax3])
title ('polar perbandingan')
figure(4)
hold on
plot(theta,hasildb,'r')
plot(theta,A5,'b')
ylabel('Nilai Gain (Directivity), dB');
xlabel('Sudut, derajat')
title ('rectangular perbandingan')

```

```

%Array Factor
figure (5)
plot(theta,AF2);
ylabel('Nilai Gain (Directivity), dB');
xlabel('Sudut, derajat')
title ('rectangular array factor')
figure (6)
polarplot(rad,AF2);
rlim([rmin1 rmax1])
title ('polar Array Factor')

```


LAMPIRAN D

DATA SIMULASI

Tabel Parameter *sweep* dimensi antenna *array* 2x1

a (mm)	b (mm)	Band width (GHz)	Peak S _{1,1} (dB @GHz)	a (mm)	b (mm)	Band width (GHz)	Peak S _{1,1}
55	46	2,42- 4,00	-19,53 @3,19	61	51	2,43- 3,98	-34,25 @3,01
55	47	2,39- 4,00	-20,16 @3,10	61	52	2,41- 3,91	-40,65 @2,98
55	48	2,36- 4,00	-21,08 @3,06	61	53	2,39- 3,84	-66,71 @2,95
55	49	2,33- 4,00	-22,24 @3,01	61	54	2,37- 3,78	-40,16 @2,93
55	50	2,31- 4,00	-23,42 @2,98	61	55	2,36- 3,73	-34,21 @2,90
55	51	2,29- 3,96	-24,95 @2,94	62	46	2,56- 4,00	-28,09 @3,18
55	52	2,27- 3,91	-26,96 @2,92	62	47	2,54- 4,00	-28,98 @3,14
55	53	2,26- 3,86	-29,50 @2,89	62	48	2,51- 4,00	-30,19 @3,11
55	54	2,26- 3,80	-33,57 @2,87	62	49	2,49- 4,00	-31,01 @3,07
55	55	2,27- 3,75	-43,29 @2,85	62	50	2,46- 4,00	-34,05 @3,04
56	46	2,44- 4,00	-20,39 @3,19	62	51	2,44- 3,99	-37,65 @3,01
56	47	2,41- 4,00	-21,05 @3,12	62	52	2,42- 3,92	-50,39 @2,98
56	48	2,38- 4,00	-21,94 @3,07	62	53	2,40- 3,84	-45,57 @2,96
56	49	2,35- 4,00	-23,17 @3,03	62	54	2,38- 3,79	-36,76 @2,93

56	50	2,33- 4,00	-24,32 @2,99
56	51	2,31- 3,95	-26,01 @2,96
56	52	2,30- 3,90	-28,20 @2,93
56	53	2,29- 3,85	-31,09 @2,91
56	54	2,29- 3,80	-36,05 @2,88
56	55	2,29- 3,71	-53,37 @2,86
57	46	2,46- 4,00	-21,34 @3,19
57	47	2,42- 4,00	-22,06 @3,13
57	48	2,40- 4,00	-22,98 @3,08
57	49	2,37- 4,00	-24,14 @3,04
57	50	2,35- 4,00	-25,19 @3,01
57	51	2,34- 3,94	-27,15 @2,98
57	52	2,33- 3,89	-29,45 @2,95
57	53	2,32- 3,84	-32,70 @2,92
57	54	2,31- 3,78	-39,56 @2,89
57	55	2,30- 3,73	-59,26 @2,87
58	46	2,47- 4,00	-22,40 @3,19
58	47	2,44- 4,00	-23,08 @3,13
58	48	2,42- 4,00	-24,00 @3,08

62	55	2,37- 3,73	-32,13 @2,09
63	46	2,58- 4,00	-30,27 @3,18
63	47	2,55- 4,00	-31,16 @3,14
63	48	2,53- 4,00	-32,45 @3,11
63	49	2,50- 4,00	-33,73 @3,08
63	50	2,48- 4,00	-37,90 @3,04
63	51	2,46- 4,00	-43,94 @3,02
63	52	2,44- 3,93	-49,67 @2,99
63	53	2,42- 3,85	-38,93 @2,96
63	54	2,40- 3,80	-33,88 @2,94
63	55	2,38- 3,74	-30,43 @2,91
64	46	2,60- 4,00	-33,21 @3,18
64	47	2,57- 4,00	-34,28 @3,14
64	48	2,54- 4,00	-36,00 @3,11
64	49	2,51- 4,00	-37,80 @3,08
64	50	2,49- 4,00	-44,45 @3,05
64	51	2,47- 4,00	-67,02 @3,02
64	52	2,45- 3,93	-41,41 @2,99
64	53	2,43- 3,86	-35,16 @2,97

58	49	2,40- 4,00	-25,11 @3,05
58	50	2,38- 4,00	-26,46 @3,02
58	51	2,37- 3,95	-28,51 @2,99
58	52	2,36- 3,89	-31,26 @2,96
58	53	2,35- 3,84	-35,29 @2,93
58	54	2,34- 3,78	-45,89 @2,90
58	55	2,32- 3,73	-46,11 @2,88
59	46	2,49- 4,00	-23,53 @3,19
59	47	2,47- 4,00	-24,27 @3,14
59	48	2,45- 4,00	-25,22 @3,09
59	49	2,42- 4,00	-26,40 @3,05
59	50	2,41- 4,00	-27,91 @3,03
59	51	2,39- 3,96	- 30,23 @2,99
59	52	2,38- 3,90	-33,53 @2,96
59	53	2,36- 2,85	-38,14 @2,94
59	54	2,35- 3,77	-76,45 @2,91
59	55	2,33- 3,73	-39,97 @2,89
60	46	2,52- 4,00	-24,80 @3,19
60	47	2,50- 4,00	-25,59 @3,14

64	54	2,41- 3,81	-31,85 @2,94
64	55	2,39- 3,76	-29,00 @2,91
65	46	2,61- 4,00	-35,38 @3,17
65	47	2,58- 4,00	-37,36 @3,14
65	48	2,55- 4,00	-41,43 @3,11
65	49	2,53- 4,00	-45,94 @3,08
65	50	2,50- 4,00	-56,93 @3,05
65	51	2,48- 4,00	-41,36 @3,03
65	52	2,46- 3,95	-36,58 @3,00
65	53	2,44- 3,88	-32,44 @2,97
65	54	2,42- 3,82	-30,17 @2,94
65	55	2,40- 3,75	-27,86 @2,92
66	46	2,63- 4,00	-63,15 @3,18
66	47	2,60- 4,00	-48,90 @3,15
66	48	2,57- 4,00	-40,76 @3,13
66	49	2,54- 4,00	-38,08 @3,10
66	50	2,52- 3,97	-34,66 @3,07
66	51	2,50- 3,92	-32,67 @3,04
66	52	2,47- 3,86	-30,81 @3,01

60	48	2,47- 4,00	-26,51 @3,10
60	49	2,45- 4,00	-27,68 @3,06
60	50	2,43- 4,00	-29,52 @3,03
60	51	2,41- 4,00	-32,06 @3,00
60	52	2,40- 3,90	-36,33 @2,97
60	53	2,37- 3,85	-43,80 @2,95
60	54	2,36- 3,79	-45,40 @2,92
60	55	2,34- 3,72	-36,73 @2,90
61	46	2,54- 4,00	-26,33 @3,18
61	47	2,52- 4,00	-27,14 @3,14
61	48	2,49- 4,00	-28,19 @3,11
61	49	2,47- 4,00	-29,26 @3,07
61	50	2,45- 4,00	-31,64 @3,03

66	53	2,45- 3,79	-28,87 @2,98
66	54	2,43- 3,74	-27,42 @2,96
66	55	2,42- 3,64	-25,10 @2,93
67	46	2,64- 4,00	-40,32 @3,18
67	47	2,61- 4,00	-37,46 @3,15
67	48	2,58- 4,00	-35,23 @3,13
67	49	2,55- 4,00	-34,30 @3,10
67	50	2,53- 3,99	-31,74 @3,07
67	51	2,51- 3,93	-30,37 @3,04
67	52	2,49- 3,88	-28,99 @3,01
67	53	2,46- 3,81	-27,59 @2,98
67	54	2,44- 3,75	-26,24 @2,96
67	55	2,43- 3,65	-24,20 @2,94

RIWAYAT PENULIS



Rio Prakoso Wibowo, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Sugianto dan Elly Sovia. Lahir di Langkat pada tanggal 22 Februari 1996. Memulai pendidikan formal di SD Kartika II-3 Palembang, lulus pada tahun 2007. Melanjutkan di SMPN 1 Palembang, lulus pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan ke SMA Taruna Nusantara Magelang dan lulus pada tahun 2013. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang sarjana (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil bidang konsentrasi Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia.

Pada bulan Juni 2017 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.

e-mail: rprakosowibowo@gmail.com

[Halaman ini sengaja dikosongkan]